

PCT

WELTOORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation 5 :	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: - WO 94/02986
H02K 19/10, 3/34, 3/46		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 3. Februar 1994 (03.02.94)

(21) Internationales Aktenzeichen : PCT/EP93/01913	(74) Anwälte: BECK, Juergen usw. ; Hoeger, Stellrecht & Partner, Uhlandstrasse 14 c, D-70182 Stuttgart (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 20. Juli 1993 (20.07.93)	(81) Bestimmungsstaaten: BR, FI, HU, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(30) Prioritätsdaten: P 42 23 831.5 20. Juli 1992 (20.07.92) DE	(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): PILLER GMBH [DE/DE]; Abgunst 24, D-37520 Osterode am Harz (DE).
(72) Erfinder; und	Veröffentlicht
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : HILLERMANN, Frank [DE/DE]; Am Breiten Busch 25, D-37520 Osterode am Harz (DE). CANDERS, Wolf-Rüdiger [DE/DE]; Fuchshaller Weg 38, D-37520 Osterode am Harz (DE). KLEIN, Harald [DE/DE]; In der Horst 6, D-37520 Osterode am Harz (DE). VON SOTHEN, Heinz [DE/DE]; Kesperbergweg 26, D-37115 Duderstadt (DE). WIEGANDT, Eduard [DE/DE]; Thueringer Strasse 272, D-37534 Badenhausen (DE).	Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: ELECTRIC MACHINE

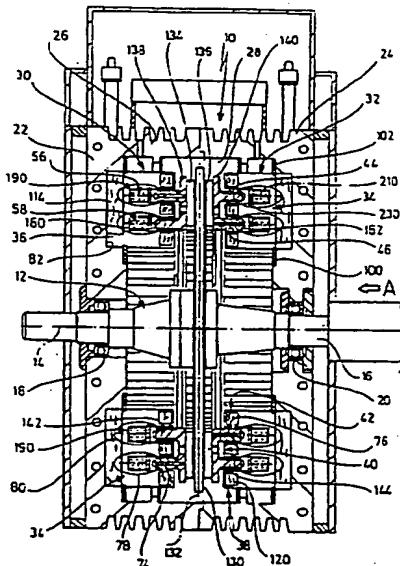
(54) Bezeichnung: ELEKTRISCHE MASCHINE

(57) Abstract

An electric machine has a rotor that rotates around an axis and a stator provided with a set of several C-shaped polar elements arranged around the axis at the same angular distance from each other. Each polar element forms with its base strip and with two polar fingers that project from the base strip a polar groove in which is located a stator winding. In order to improve such a machine so that with a construction as simple as possible a sufficiently reliable operation of the electric machine be ensured, the polar groove is provided with a lining located between the stator winding and each polar element. The groove lining consists of an electrically insulating flat material located between the stator winding and the polar element.

(57) Zusammenfassung

Um eine elektrische Maschine, umfassend einen sich um eine Achse drehenden Läufer und einen Stator, welcher einen Satz mit einer Vielzahl von um die Achse herum in gleichen Winkelabständen angeordneten C-förmigen Polelementen umfaßt, von denen jedes mit einem Basissteg und zwei von diesem abstehenden Polfingern eine Polnut bildet, in welcher eine Statorwicklung liegt derart zu verbessern, daß bei möglichst einfacher konstruktiver Lösung eine ausreichend zuverlässige Funktion der elektrischen Maschine gegeben ist, wird vorgeschlagen, daß die Polnut mit einer zwischen der Statorwicklung und jedem Polelement liegenden Nutauskleidung versehen ist und daß die Nutauskleidung ein elektrisch isolierendes flächig zwischen der Statorwicklung und dem Polelement liegendes Material umfaßt.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MR	Mauritanien
AU	Australien	FR	Frankreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GA	Gabon	NE	Niger
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	HU	Ungarn	PL	Polen
BR	Brasilien	IE	Irland	PT	Portugal
BY	Belarus	IT	Italien	RO	Rumänien
CA	Kanada	JP	Japan	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SD	Sudan
CG	Kongo	KR	Republik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slowakischen Republik
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CN	China	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LV	Lettland	TC	Togo
CZ	Tschechischen Republik	MC	Monaco	UA	Ukraine
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark	ML	Mali	UZ	Usbekistan
ES	Spanien	MN	Mongolien	VN	Vietnam

1
B E S C H R E I B U N G

Elektrische Maschine

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine, umfassend einen sich um eine Achse drehenden Läufer und einen Stator, welcher einen Satz mit einer Vielzahl von um die Achse herum in gleichen Winkelabständen angeordneten C-förmigen Polelementen umfaßt, von denen jedes mit einem Basissteg und zwei von diesem abstehenden Polfingern eine Polnut bildet, in welcher eine Statorwicklung liegt.

Derartige elektrische Maschinen sind beispielsweise aus der DE-OS 35 36 538 oder der DE-OS 39 27 454 bekannt.

Die bekannten Lösungen zeigen jedoch keine kommerziell zu fertigenden Lösungen, insbesondere hinsichtlich der Art der Anordnung der Statorwicklung in den Polnuten.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine elektrische Maschine der gattungsgemäßen Art derart zu verbessern, daß bei möglichst einfacher konstruktiver Lösung eine ausreichend zuverlässige Funktion der elektrischen Maschine gegeben ist.

Diese Aufgabe wird bei einer elektrischen Maschine der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Polnut mit einer zwischen der Statorwicklung und jedem Polelement liegenden Nutauskleidung versehen ist und daß die Nutauskleidung ein elektrisch isolierendes flächig zwischen der Statorwicklung und dem Polelement liegendes Material umfaßt.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung ist darin zu sehen, daß die Nutauskleidung eine sichere und zuverlässige sowie einfach montierbare elektrische Isolation zwischen der Statorwicklung und den Polelementen gewährleistet.

Eine besonders zuverlässige Nutisolation ist dann erreichbar, wenn die Nutauskleidung einen C-ähnlich geformten isolierenden Bereich umfaßt, welcher in der Polnut liegt.

Die Nutauskleidung könnte beispielsweise eine Pulverbeschichtung im Bereich der Polnut sein, welche insbesondere auch Außenkanten der Polnut umgibt, um ein "Scheuern" der Statorwicklung an diesen Außenkanten zu verhindern.

Herstellungstechnisch einfacher, insbesondere bei Kleinserien, ist es jedoch, wenn die Nutauskleidung ein in die Polnut eingelegtes elektrisch isolierendes Flachmaterial umfaßt.

Zweckmäßigerweise ist der C-ähnlich geformte Bereich als einstückiges Teil aus dem elektrisch isolierenden Flachmaterial ausgebildet, wodurch insbesondere die Montage einer Nutauskleidung erleichtert wird.

Mechanisch vorteilhaft im Hinblick auf die Stabilität ist es, wenn die Statorwicklung über die Nutauskleidung an den Polelementen abgestützt ist, so daß einerseits ein elektrischer Kurzschluß zwischen der Statorwicklung und

den Polelementen vermieden wird und andererseits die Nutauskleidung als eine einfache Möglichkeit genutzt ist, um die Statorwicklung sicher in der elektrischen Maschine zu fixieren.

Um trotz der vorgesehenen Nutauskleidung noch eine effiziente Kühlung der Statorwicklung, insbesondere in dem Bereich zwischen den Polelementen zu erreichen, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Nutauskleidung die Statorwicklung in einem Zwischenraum zwischen zwei Polelementen mindestens ungefähr die Hälfte einer Umfangsfläche der jeweiligen Statorwicklung freigibt.

Noch besser ist es, wenn die Nutauskleidung in den Zwischenräumen zwischen zwei Polelementen mindestens drei Viertel der Umfangsfläche, noch besser mindestens drei Seiten, der Statorwicklung freigibt.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Nutauskleidung die Statorwicklung in einen Zwischenraum zwischen zwei Polelementen im wesentlichen freigibt, so daß die Statorwicklung in diesem Zwischenraum durch ein Kühlmedium kühlbar ist. Dabei steht die Nutauskleidung vorzugsweise lediglich geringfügig über Außenkanten der Polnut über oder umgibt diese, um ein "Scheuern" der Statorwicklung an diesem zu verhindern.

Eine bevorzugte Lösung sieht vor, daß jedes Polelement mit einer eigenen für dieses vorgesehene Nutauskleidung versehen ist.

Um insbesondere bei einer eigens für jedes Polelement vorgesehenen Nutauskleidung sicherzustellen, daß die Nutauskleidung für jedes Polelement sich während des Betriebs der elektrischen Maschine nicht verschiebt, sondern zwischen dem Polelement und der Statorwicklung verbleibt, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Nutauskleidung in jedem Polelement gegen eine Verschiebung in Wicklungs- oder Azimutalrichtung der Statorwicklung relativ zum Polelement gesichert ist. Dadurch wird vermieden, daß sich die Nutauskleidung in dieser Richtung aus dem Polelement herausbewegt und damit im Laufe des Betriebs der elektrischen Maschine ein elektrischer Kurzschluß zwischen der Statorwicklung und dem Polelement auftritt und/oder keine Abstützung der Statorwicklung durch das jeweilige Polelement mehr erfolgt.

Dies läßt sich beispielsweise dadurch realisieren, daß die Nutauskleidung mit dem jeweiligen Polelement verklebt ist. Beispielsweise ist hierfür eine Schmelzkleberschicht zwischen der Nutauskleidung und dem Polelement geeignet, welche nach Einführen der Nutauskleidung in die Polnut durch Erhitzen aktivierbar ist.

Alternativ oder ergänzend dazu ist vorteilhafterweise vorgesehen, daß die Nutauskleidung an dem Polelement formschlüssig fixiert ist.

Eine derartige formschlüssige Fixierung der Nutauskleidung an dem Polelement erfolgt vorzugsweise durch mindestens ein quer zur Wicklungs- oder Azimutalrichtung der Statorwicklung in Richtung auf das Polelement vorspringendes Sicherungselement.

Dieses Sicherungselement kann entweder so ausgebildet sein, daß es in eine Ausnehmung im Polelement eingreift.

Alternativ dazu ist vorgesehen, daß das Sicherungselement an einer beispielsweise seitlichen Oberfläche des jeweiligen Polelements anliegt.

Im einfachsten Fall sind zwei auf gegenüberliegenden Seiten an einer Oberfläche des Polelements anliegende Sicherungselemente vorgesehen.

Die Sicherungselemente können prinzipiell so angeordnet sein, daß jeweils eines an einander gegenüberliegenden Nutseitenwandelementen der Nutauskleidung angeordnet ist und somit jedes eine Sicherung gegen eine Verschiebung der Nutauskleidung in eine jeweils entgegengesetzte Richtung bewirkt. Noch vorteilhafter ist es jedoch, wenn jedes der Nutseitenwandelemente zwei Sicherungselemente trägt.

Eine weitere Alternative oder ergänzende Sicherung der Nutauskleidungen gegen eine Bewegung in Wicklungs- oder Azimutalrichtung sieht vor, daß die Nutauskleidungen aufeinanderfolgender Polelemente durch einen Steg miteinander verbunden sind. Dadurch sind die Nutauskleidungen aufeinanderfolgender Polelemente gegeneinander abgestützt, so daß lediglich eine gemeinsame Verschiebung aller Nutauskleidungen möglich ist.

Besonders vorteilhaft ist diese Lösung dadurch, daß damit über den Steg alle Nutauskleidungen miteinander zusammenhängen, so daß die Nutauskleidungen beispielsweise miteinander in die Polnuten eines Satzes von Polelementen einsetzbar sind.

Ein derartiger Steg kann beispielsweise im Bereich der Nutseitenwandelemente angeordnet sein. Beispielsweise wäre es denkbar, jedes der aufeinanderfolgenden Nutseitenwandelemente mit einem derartigen Steg zu verbinden.

Alternativ ist es jedoch vorteilhaft, wenn der Steg im Bereich eines Nutbodenelements der Nutauskleidung angeordnet ist und somit aufeinanderfolgende Nutbodenelemente miteinander verbindet. Der Vorteil eines im Bereich der Nutbodenelemente angeordneten Stegs ist auch darin zu sehen, daß dieser eine zusätzliche Fixierung der Nutauskleidung, beispielsweise ergänzend zu den Sicherungselementen, erlaubt.

Ferner sieht ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß die Nutauskleidung gegen eine Bewegung parallel zu den Polfingern in dem Polelement gesichert ist. Vorzugsweise ist dies eine Sicherung gegen eine Bewegung in Richtung eines dem Basissteg gegenüberliegenden Endes der Polfinger.

Eine derartige Sicherung der Nutauskleidung kann ebenfalls wieder über eine Kleberschicht, beispielsweise einen Schmelzkleber, erfolgen.

Alternativ ist es ebenfalls in diesem Fall vorteilhaft, wenn die Nutauskleidung formschlüssig an dem jeweiligen Polelement gesichert ist.

Vorzugsweise ist dies dadurch realisiert, daß die Nutauskleidung in eine Ausnehmung im Polelement eingreift.

Besonders vorteilhaft ist eine Lösung, bei welcher die Nutauskleidung mit einer Endkante eines Nutseitenwandelements in die Ausnehmung des Polelements eingreift.

Besonders sicher ist eine Fixierung der Nutauskleidung dann, wenn beide Nutseitenwandelemente mit ihren Endkanten in Ausnehmungen im Polelement eingreifen. Um einen Eingriff eines Nutseitenwandelements in eine derartige Ausnehmungen zu realisieren, ist es zweckmäßig, wenn das Nutseitenwandelement eine in Richtung der Ausnehmung in dem Polelement umgebogene Auskragungen aufweist, welche beispielsweise in Form einer Schnappverbindung in die Ausnehmungen einrastbar sind.

Im Fall einer durch einen Distanzfinger geteilten Polnut ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Nutauskleidung zwei Teilnutauskleidungen umfaßt und daß jede Teilnutauskleidung ein Nutseitenwandelement, ein Teilnutbodenelement und ein Distanzfingerlement umfaßt, so daß in jede, der durch den Distanzfinger getrennten Teilnuten eine derartige Teilnutauskleidung einsetzbar ist, welche mit ihrem Nutseitenwandelement an der Nutseitenwand, mit ihrem Teilnutbodenelement an dem jeweiligen Teilnutboden und mit ihrem Distanzfingerelement an der jeweiligen Distanzfingerseite anliegt.

Um den Distanzfinger sicher mit der Nutauskleidung zu überdecken ist vorzugsweise vorgesehen, daß sich das Distanzfingerelement um eine Spitze des Distanzfingers umlegt.

Noch vorteilhafter ist es, wenn sich das Distanzfingerelement um eine Spitze des Distanzfingers umlegt und mit einem Endbereich auf der jeweils gegenüberliegenden Distanzfingerseite anliegt.

Ein derartige Distanzfinger schafft insbesondere eine optimale Möglichkeit, Wärme aus der jeweiligen Statorwicklung, das heißt insbesondere aus einem mittigen Bereich derselben abzuleiten, wobei eine Wärmeableitung im Bereich des Distanzfingers über das jeweilige Distanzfingerelement der Nutauskleidung erfolgt.

Hinsichtlich der Sicherung der Statorwicklung in der Polnut wurden im Zusammenhang mit den bislang beschriebenen Ausführungsbeispielen keine näheren Angaben gemacht.

So sieht ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß die Statorwicklung gegen eine Bewegung parallel zu den Polfingern in der Polnut durch einen Nutdeckel gesichert ist.

Beispielsweise könnte dieser Nutdeckel ebenfalls mit den Polelementen verklebt sein.

Noch vorteilhafter ist es jedoch, wenn der Nutdeckel formschlußig an dem Polelement gehalten ist.

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn der Nutdeckel in Ausnehmungen in den Polfingern eingreift.

Eine besonders zweckmäßige Lösung sieht vor, daß der Nutdeckel in seitlich der Polnut liegende Ausnehmungen im Polelement eingreift.

Um insbesondere die Nutauskleidung gleichzeitig mit dem Nutdeckel zu fixieren, ist vorzugsweise vorgesehen, daß der Nutdeckel in die für die Endkanten der Nutseitenwandelemente vorgesehenen Ausnehmungen eingreift, so daß nur eine Art von Ausnehmungen vorzusehen ist, welche sowohl die Nutauskleidung als auch den Nutdeckel formschlüssig fixiert.

Noch vorteilhafter ist es, insbesondere um die sich parallel zueinander erstreckenden Nutseitenwandelemente in den Ausnehmungen mit ihren Endkanten zu sichern, wenn der Nutdeckel die Auskragungen der Nutseitenwandelemente in die Ausnehmungen drückt.

Hinsichtlich der Montage hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn der Nutdeckel zur formschlüssigen Fixierung mit dem Polelement mit diesem verrastbar ist und somit eine Schnappverbindung bildet.

Hinsichtlich der Ausbildung der Nutauskleidungen sieht ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß die Nutauskleidung ein vorgefertigtes Kunststoffteil, beispielsweise ein Spritzgußteil umfaßt. Dieses Kunststoffteil ist vorteilhafterweise in seiner endgültigen Form, insbesondere als Einzeltei, gefertigt.

Alternativ dazu ist vorgesehen, daß die Nutauskleidung aus dem Flachmaterial herausgetrennt, beispielsweise gestanzt, und C-förmig gebogen ist. Dies stellt die einfachste Möglichkeit dar, die Form einer Nutauskleidung für jedes einzelne Polelement möglichst einfach und kostengünstig herzustellen.

Insbesondere dann, wenn die Nutauskleidungen nur durch einen Steg miteinander verbunden sind, ist es besonders vorteilhaft, wenn alle Nutauskleidungen zusammenhängend hergestellt sind, das heißt beispielsweise aus dem Flachmaterial, vorzugsweise einem geraden Flachmaterialstreifen, gestanzt und anschließend C-förmig gebogen sind, wobei der Steg die einzelnen Nutauskleidungen miteinander verbindet.

Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß die Statorwicklung über die Nutauskleidung thermisch mit den Polelementen gekoppelt ist. Damit wird eine gute Kühlung der Statorwicklung über die Polelemente erreichbar.

Günstig ist es hierzu, wenn die Nutauskleidung über ein Wärmekontaktmaterial mit dem jeweiligen Polelement thermisch gekoppelt ist.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn die Nutauskleidung über ein Wärmekontaktmaterial thermisch auf der Statorwicklung gekoppelt ist.

Vorzugsweise ist das Wärmekontaktmaterial eine Wärmeleitpaste oder eine Vergußmasse, beispielsweise ein Harz.

Besonders vorteilhaft ist die erfindungsgemäße Lösung dann, wenn die elektrische Maschine eine Statorwicklung aufweist, welche ringförmig um die Achse des Läufers herum und durch die Polnuten hindurchverläuft, da eine derartige Statorwicklung besonders vorteilhaft mit den erfindungsgemäßen Nutauskleidungen gegenüber den Polelementen isolierbar ist.

Die Magnetkreiselemente könnten auch Permanentmagnete sein. Besonders vorteilhaft sind jedoch Magnetkreiselemente, die aus einem nicht permanent magnetisierten und magnetisch leitfähigen Material sind.

Vorzugsweise führt eine derartige Statorwicklung sowohl einen AC-Stromanteil als auch einen DC-Stromanteil, so daß die erfindungsgemäße elektrische Maschine als elektrische Reluktanzmaschine arbeitet.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine arbeitet als Synchronmotor, insbesondere als modifizierter Reluktanzmotor, bei welchem die Zahl der Polelemente eines Satzes der Zahl der diesem Satz von Polelementen zugeordneten Magnetkreiselemente entspricht und jeweils alle Magnetkreiselemente gleichzeitig von den Polelementen angezogen oder nicht angezogen werden.

Um insbesondere hinsichtlich der Polelemente eine möglichst kompakte Lösung zu schaffen, sieht ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß die Polelemente E-förmig, d.h. Doppel-C-förmig, ausgebildet sind.

Vorzugsweise sind die Polfinger so angeordnet, daß sie sich parallel zur Achse des Läufers erstrecken.

Eine konstruktiv besonders vorteilhafte Lösung sieht dabei vor, daß die Polelemente an einem Statorträger gehalten sind.

Eine hinsichtlich der Kompaktheit und der Energieumsetzung besonders vorteilhafte Lösung sieht ferner zwei Sätze von Polelementen vor.

Die von der Erfindung beispielsweise umfaßten elektrisch erregten Transversalfluß-Maschinen, sind in ihrem grundlegenden Aufbau aus der DE 39 27 454 C2 bekannt.

Derartige Synchronmaschinen werden insbesondere dort eingesetzt, wo eine hohe Kraftdichte je Volumeneinheit und geringe Verluste gefordert werden. Wesentliche Merkmale derartiger Transversalfluß-Maschinen sind die Ausführung der Wicklung in Form von Ringspulen konzentrisch zur Welle sowie die um die Spule herum transversal angeordneten magnetischen Kreise.

Bei der aus der DE 39 27 454 bekannten Lösung wird der magnetische Fluß in Weicheisen-Polelementen geführt, die senkrecht zur Bewegungsrichtung angeordnet sind, wobei die

Wicklung mit ihren magnetisierenden Teilen in Längsrichtung verläuft und in zwei Spulenteile aufgeteilt ist, von denen in einem ein Gleichstrom und in dem anderen ein Wechselstrom geführt wird. Die durch die Weicheisen-Polelemente gebildeten magnetischen Kreise sollen dabei stets beide Spulenteile umfassen.

Bei der praktischen Umsetzung ergeben sich zahlreiche Probleme, insbesondere in Hinblick auf eine kompakte Bauform bei gleichzeitig hoher Kraftdichte. Die erfindungsgemäße Lösung geht von der Überlegung aus, die Polgeometrie der Maschine im Sinne einer Erhöhung der Kraftdichte, bezogen auf das Maschinenvolumen, zu optimieren.

In diesem Sinne sieht die Erfindung in ihrer allgemeinsten Ausführungsform eine elektrisch erregte Transversalfluß-Maschine mit einem beweglichen und einem festen Teil (Läufer; Stator) mit folgenden Merkmalen vor:

- der Stator weist eine Anzahl, radial zur Welle der Maschine ausgerichtete Polelemente auf, die gleichmäßig in Umfangsrichtung verteilt angeordnet sind,
- jedes Polelement ist mit mindestens einer, in Richtung der Achse des Läufers sich erstreckenden Polnut ausgebildet, wobei beispielsweise jedes Polelement, ausgehend von einem mittleren Polabschnitt, in Richtung auf zwei stirnseitige Lagerschilde der Maschine spiegelbildlich ausgebildet ist,

- in der Polnut verläuft mindestens eine, konzentrisch zur Welle angeordnete Erregerspule,
- der auf Wälzlagern geführte Läufer umfaßt insbesondere zwei Trägerscheiben, die mit jeweils mindestens einem, konzentrisch zur Welle verlaufenden Läuferring bestückt sind, der in die korrespondierende Polnut im Stator eingreift.

Dieser Aufbau ermöglicht auf kleinstem Raum die Anordnung der Weicheisen-Polelemente in gleichmäßiger Verteilung und radialer Ausrichtung sowie die korrespondierende Gestaltung der Läuferringe ermöglichen bei kleiner Masse eine hohe Kraftdichte.

Dieser kann weiter optimiert werden, wenn nach einer Ausführungsform die Polelemente, ausgehend vom mittleren Polabschnitt, mit jeweils drei Polfingern auf jeder Seite (spiegelbildlich) ausgebildet sind, unter gleichzeitiger Ausbildung von jeweils zwei konzentrisch zur Achse verlaufenden Polnuten auf jeder Seite.

Für das einzelne Polstück ergibt sich damit in der Seitenansicht die Form eines doppelten "E", wobei die beiden "E" spiegelbildlich zueinander angeordnet sind.

Werden nun in den Polnuten (zwei auf jeder Seite) beispielsweise je zwei Erregerspulen eingelegt, so entspricht dies quasi der integralen Ausbildung von vier Motoren, wobei die entsprechenden Spulen versetzt angesteuert werden. Die Folge ist ein extrem gleichmäßiger Lauf der Maschine bei gleichzeitig geringen Verlusten.

Die Erregerspulen können aus Kupferdraht gewickelte Spulen sein.

Ausgehend von beispielsweise 64, symmetrisch zur Wellenachse angeordneten Polelementen mit jeweils drei Polfingern auf jeder Seite, ergeben sich dabei 128 Abschnitte der Polelemente auf jeder Seite, die gegenüber der jeweiligen Erregerspule zu isolieren sind.

Zur Lösung dieses konstruktiv und elektrisch komplizierten Problems sieht eine Ausführungsform der Erfindung vor, die Isolierung zwischen den Erregerspulen und den Polflächen der korrespondierenden Polfinger von U-förmig gestalteten, in Richtung auf die Lagerschilde offenen Isolierkörpern oder Nutauskleidungen zu bilden.

Dabei können die einzelnen Isolierstücke oder Nutausbildungen vorzugsweise diskrete Bauteile sein, was jedoch einen entsprechenden Bestückungsaufwand erfordert. Nach einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sollten deshalb die Basisabschnitte der U-förmig aufgebogenen Isolierkörper zwischen benachbarten Polelementen einstückig miteinander verbunden sein.

Daraus ergibt sich die Möglichkeit, mit einem einzigen Isolierkörper oder einer einzigen Nutausbildung je Polnut sämtliche Kontaktflächen zwischen Erregerspule und Polelementen zu isolieren. Der Isolierkörper kann dabei ein gestanztes Isolierpapier sein, das dann eine mittlere ringförmig geschlossene Basis aufweist, von der radial nach außen und innen Schenkelabschnitte verlaufen, die später aufgebogen werden.

Mit Hilfe eines einzigen Werkzeugs läßt sich ein solcher Isolierkörper in einem Arbeitsschritt einsetzen.

Eine Weiterbildung sieht vor, die freien Enden der U-Schenkel jedes Isolierkörper-Abschnitts nach außen abgekröpft auszubilden, wobei der abgekröpfte Abschnitt dann in korrespondierende Schlitze auf den Flächen der Polfinger einrasten kann. Auf diese Art und Weise wird gleichzeitig eine Verdreh sicherung erreicht.

Besonders günstig ist es, wenn die Erregerspulen oberseitig durch an den Polfingern befestigte Isolierstücke abgedeckt sind.

Die Schlitze für die Isolierkörper können weiter dazu genutzt werden, Isolierstücke zu fixieren, die auf den Erregerspulen oberseitig aufgelegt werden, insbesondere, wenn die Erregerspule je Polnut mehrteilig ausgebildet wird, so daß die einzelnen Teilwicklungen durch die genannten Isolierstücke voneinander getrennt sind.

Die elektrischen Anschlußelemente der Wicklungen können radial zwischen den Polstücken herausgeführt werden.

Die Polelemente bestehen vorzugsweise aus Weicheisen und werden beispielsweise jeweils aus einer Vielzahl von aufeinandergeschichteten Blechen gebildet. Elektrobacklackbleche haben sich dabei als besonders vorteilhaft erwiesen.

Zur Konfektionierung der einzelnen Polelemente (die - in Richtung der Achse des Läufers betrachtet - in etwa der Minutenteilung einer Uhr entspricht) hat sich das Aufbringen eines Schrumpftrings als vorteilhaft erwiesen. Ein korrespondierender Innenring kann dabei die Verformung der Polelemente verhindern.

Grundsätzlich reicht ein Schrumpftring, der dann vorzugsweise auf der Umfangsfläche der mittleren Polabschnitte verläuft, zur Konfektionierung aus. Ebenso können aber auch die beidseitig vorspringenden Polfinger umfangsseitig von eigenen Schrumpftringen eingefaßt werden. Derartige Schrumpfringe lassen sich beispielsweise durch induktive Erwärmung aufweiten und anschließend durch Abkühlung auf die Umfangsfläche ortsfest aufbringen.

In Hinblick auf eine notwendige Kühlung der Maschine können die Schrumpfringe gleichzeitig mit Kühlrippen oder Nuten zur Durchführung von Kühlluft ausgebildet werden.

Konstruktive Vorteile ergeben sich dann, wenn die Polstücke sowie die in den Polnuten einliegenden Erreger-spulen mit einem Isolierharz vergossen sind.

Besonders günstig ist es, wenn die Läuferringe entsprechend der Positionierung der Polstücke umfangsseitig mit korrespondierenden nutartigen Vertiefungen ausgebildet sind.

Ferner ist es zweckmäßig, wenn in jeder der Polnuten mindestens eine Erregerspule einliegt.

Außerdem ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Erregerspule jeder Polnut in zwei übereinander angeordnete Teilspulen aufgeteilt ist (in Richtung der Achse betrachtet).

Weitere Merkmale und Vorteile der erfindungsgemäßen Lösung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung einiger Ausführungsbeispiele. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäße elektrische Maschine;

Fig. 2 eine sektorweise Darstellung einer Draufsicht in Richtung des Pfeils A in Fig. 1 mit teilweise weggebrochenem rechten Stator links oben und zusätzlich teilweise weggebrochenem Läufer rechts oben;

Fig. 3 eine vergrößerte ausschnittsweise Draufsicht auf ein Polelement in einer Ansicht ähnlich Fig. 1;

Fig. 4 eine vergrößerte ausschnittsweise perspektivische Darstellung einer Polnut mit einer erfindungsgemäßen Nutauskleidung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel;

Fig. 5 eine perspektive Darstellung der Nutauskleidung des ersten Ausführungsbeispiels;

Fig. 6 eine ausschnittsweise Draufsicht auf ein Polelement ohne Nutauskleidung in der Ansicht ähnlich Fig. 3;

Fig. 7 eine Variante der erfindungsgemäßen Nutauskleidung des ersten Ausführungsbeispiels;

Fig. 8 eine ausschnittsweise vergrößerte Darstellung ähnlich Fig. 3 eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine mit einer Nutauskleidung;

Fig. 9 eine vergrößerte Darstellung ähnlich Fig. 8 eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine;

Fig. 10 eine vergrößerte Darstellung ähnlich Fig. 3 eines vierten Ausführungsbeispiels;

Fig. 11 eine Draufsicht auf eine aus Flachmaterial hergestellte Nutauskleidung gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel;

Fig. 12 einen Teilschnitt durch ein fünftes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Maschine;

Fig. 13 eine Draufsicht auf ein Teilsegment eines Isolierkörpers zur Verwendung in der Maschine nach Fig. 12;

Fig. 14 der Isolierkörper nach Fig. 13 in der Montageposition (im Schnitt) und

Fig. 15 eine Draufsicht auf eine Innenfläche eines Läufers der Maschine nach Fig. 12.

Ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine umfaßt, wie in Fig. 1 dargestellt, ein Gehäuse 10, in welchem ein Läufer 12 um eine Achse 14 rotierend gelagert ist. Der Läufer 12 weist dazu eine Läuferwelle 16 auf, welche in zwei im Abstand voneinander angeordneten Läuferlagern 18 und 20 in einem vorderen Lagerschild 22 bzw. einem hinteren Lagerschild 24 des Gehäuses 10 gelagert ist. Die Lagerschilde 22 und 24 tragen dabei einen Gehäusemantel 26, welcher sich zwischen den Lagerschilden 22 und 24 erstreckt und ein Gehäuseinneres 28 zusammen mit den Lagerschilden 22 und 24 nach außen abschließt.

Die Lagerschilde 22 und 24 stellen gleichzeitig Statorträger für zwei Statoren 30 und 32 dar, von denen jeder, wie insbesondere in Fig. 2 dargestellt, einen Satz mit einer Vielzahl von umlaufend um die Achse 14 in gleichen Winkelabständen und gleichen radialen Abständen von der Achse 14 angeordneten Polelementen 34 umfaßt.

Jedes der Polelemente 34 umfaßt, wie in Fig. 1 dargestellt, einen Basissteg 36, von welchem ausgehend sich drei parallel zueinander ausgerichtete Polfinger 38,

40 und 42 erstrecken, wobei jeweils zwischen zwei Polfingern 38 und 40 sowie 40 und 42 eine Polnut 44 bzw. 46 liegt, so daß insgesamt das Polelement eine E-ähnliche Form aufweist, welche auch als Doppel-C bezeichnet werden kann, wobei jeweils die Polfinger 38 und 40 mit dem Basissteg 36 und die Polfinger 40 und 42 mit dem Basissteg 36 eine C-Form bilden.

In den Polnuten 44 und 46, und zwar in einem hinteren Nutabschnitt 48 bzw. 50 der Polnut 44 bzw. 46, welcher sich ausgehend von einem Nutboden 52 bzw. 54 erstreckt, liegt in jeder der Polnuten 44 bzw. 46 eine als ganzes mit 56 bzw. 58 bezeichnete Statorwicklung. Jede der Statorwicklungen 56 und 58 verläuft koaxial zur Achse 14 auf einer senkrecht zur Achse 14 liegendem Ring, allerdings mit jeweils unterschiedlichem Abstand von der Achse 14.

In einen sich an den hinteren Nutabschnitt 48 bzw. 50 anschließenden vorderen Nutabschnitt 64 bzw. 66, welcher sich von den Statorwicklungen 56 bzw. 58 bis zu den vorderen Enden 68, 70, 72 der Polfinger 38, 40, 42 erstreckt, greift der Läufer 12 mit seinen Magnetkreiselementen 74 bzw. 76 ein, um jeweils bei dem in dem vorderen Nutabschnitt 64 bzw. 66 stehenden Magnetkreiselement 74 bzw. 76 einen geschlossenen Magnetfeldlinienverlauf 78 bzw. 80 zu lassen, wobei der Magnetfeldlinienverlauf 78 durch den Basissteg 36 sowie die Polfinger 38 und 40 sowie das Magnetkreiselement 74 und die Luftspalte zwischen diesem und den Polfingern 38 und 40 hindurchverläuft, während der

Magnetfeldlinienverlauf 80 durch den Basissteg 36 sowie die Polfinger 40 und 42, das Magnetkreiselement 76 und die Luftspalte zwischen diesem und den Polfingern 40 und 42 hindurchverläuft.

Vorzugsweise liegen die Magnetfeldlinienverläufe 78 und 80 der Polelemente 34 in Ebenen einer Ebenenschar, welche durch die Achse 14 hindurchgeht und durch diese definiert ist.

Zur Verankerung am jeweiligen Statorträger, das heißt an dem vorderen Lagerschild 22 und dem hinteren Lagerschild 24, sind die Polelemente 34 in eine Ausnehmung 82 in den Statorträgern 22, 24 eingesetzt, wobei diese Ausnehmung 82 vorzugsweise als zur Achse 14 konzentrische Ringnut ausgebildet ist, deren innere Seitenwand 84 und äußere Seitenwand 86 jeweils Teil einer zur Achse 14 koaxialen Zylinderfläche ist und deren Boden 88 durch eine zur Achse 14 konzentrische Kreisringfläche gebildet ist, die senkrecht zur Achse 14 steht.

Die Ausnehmung 82 ist dabei so ausgebildet, daß die Polelemente 34 mit einem wesentlichen Teil ihres Basisstegs 36 in der Ausnehmung 82 liegen, mit einer Basisfläche 90 auf dem Boden 88 aufsitzten und mit ihren Außenseiten 92 und 92, welche in Außenseiten 92 und 94 der Polfinger 38 und 42 übergehen, an der inneren Seitenwand 84 bzw. der äußeren Seitenwand 86 anliegen und somit formschlüssig durch die Ausnehmung 82 gegen eine Bewegung radial zur Achse 14 gesichert sind.

Zur Fixierung der Polelemente dergestalt, daß sich deren einander zugewandte Oberflächen 96 und 98 näherungsweise ebenfalls parallel zu Ebenen einer durch die Achse 14 hindurchgehenden und durch diese definierten Ebenenschar erstrecken und die Polelemente 34 in gleichen Winkelabständen um die Achse 14 herum angeordnet sind, ist auf einer radial innen liegenden Seite der Polelemente 34 ein innerer Positionierring 100 und auf einer radial außen liegenden Seite der Polelemente 34 ein äußerer Positionierring 102 vorgesehen, wobei jeder der Positionierringe 100, 102 Vorsprünge 104 bzw. 106 aufweist, welche zwischen einander zugewandten Oberflächen 96, 98 aufeinanderfolgender Polelemente 34 eingreifen und an diesen Oberflächen 96, 98 aufeinanderfolgender Polelemente 34 anliegen und somit den Abstand zwischen diesen Polelementen exakt definieren.

Vorzugsweise sind diese Positionierringe 100 und 102 an dem jeweiligen Statorträger 22 bzw. 24 durch Befestigungselemente 108 und 110 fixierbar, so daß eine vorteilhafte, vom Statorträger getrennte Herstellung der Positionierringe 100 und 102 möglich ist, die das Herstellen definiert bemaßter Vorsprünge 104 und 106 erleichtert. Diese Positionierringe 100 und 102 sind somit nachträglich auf die separat mit der Ausnehmung 82 hergestellten Statorträger 22 und 24 montierbar.

Neben der Ausrichtung der Polelemente 34 in definierten Winkelabständen um die Achse 14 erfolgt eine Stabilisierung der Polelemente 34 relativ zueinander in Azimutalrichtung 112 durch einerseits in der Ausnehmung 82 liegende Basisstützelemente 114, welche die Basisstege 36

der Polelemente 34 zwischen einander gegenüberliegenden Oberflächen 96 und 98 ausfüllen. Die Basisstützelemente 114 umfassen einen Haltekörper 116 aus elastischem und porösem Material, beispielsweise Filz, welcher in die Zwischenräume zwischen den Oberflächen 96 und 98 im Bereich der Basisstege 36 in die Ausnehmung 82 eingelegt und mit einer Vergußmasse 118 getränkt ist, welche einerseits den Haltekörper 116 durchsetzt und gleichzeitig ebenfalls in die Zwischenräume zwischen den Polelementen 34 und der Ausnehmung 82 eindringt, so daß nach dem Aushärten einerseits der poröse und elastische Haltekörper versteift und andererseits das Polelement 34 ebenfalls mit seinen Außenseiten 92 und 94 sowie der Basisfläche 90 in die Ausnehmung 82 eingeklebt ist.

Der Haltekörper 116 hat den Vorteil, daß er die Vergußmasse 118 aufsaugt und somit auch im nicht ausgehärteten Zustand hält und an einem Wegfließen hindert.

Darüber hinaus sind zur zusätzlichen Versteifung zwischen den Polelementen 34 im Bereich der Polfinger 38, 40 und 42 Fingerstützelemente 120 vorgesehen, welche ebenfalls einen Haltekörper 122 aus porösem und elastischem Material, beispielsweise ebenfalls Filz umfassen, der seinerseits wiederum durch eine Vergußmasse 124 versteift ist. Der Haltekörper 122 hat den großen Vorteil, daß er auch die Vergußmasse 124 im nicht ausgehärteten Zustand hält und an einem Wegfließen hindert.

Vorzugsweise sitzen die Fingerstützelemente 120 im Bereich nahe der Enden 68, 70 und 72 der Polfinger 38, 40 und 42 und führen ebenfalls zu einer Versteifung zwischen den Polelementen 34 in Richtung der Azimutalrichtung 112.

Der als Ganzes mit 12 bezeichnete Läufer umfaßt, wie in Fig. 1 und 2 dargestellt, neben der Läuferwelle 16 eine sich radial zu dieser und in einer senkrecht zur Achse 14 stehenden Ebene 132 erstreckende Läuferscheibe 130. Diese Läuferscheibe 130 trägt in einem radial außen liegenden Bereich, wie aus Fig. 1 und 2 zu ersehen, beiderseits sich von derselben weg in Richtung der Achse 14 erstreckende Luftumwälzschaufeln 134 und 136, die ihrerseits mit ihren der Läuferscheibe 130 abgewandten Enden Läuferringe 138 bzw. 140 tragen, von welchen ausgehend sich die Magnetkreiselemente 74 und 76 ebenfalls in Richtung parallel zur Achse 14 erstrecken.

Die Magnetkreiselemente 74 und 76 sitzen, wie in Fig. 3 dargestellt, zwischen einstückig an die Läuferringe 138 und 140 angeformten Zähnen 142, welche die Magnetkreiselemente 74 und 76 in einem mittleren Bereich 146 beidseitig formschlüssig umgreifen.

Die Magnetkreiselemente 74 und 76 weisen radial innenliegende Vorsprünge 148 und radial außenliegende Vorsprünge 150 auf, welche durch einen mittleren Bereich 146 verbunden sind, der seinerseits eine sich quer zur radialen Richtung von einem Vorsprung 148 zum anderen Vorsprung 150 hin erstreckende und sich quer zur radialen

Richtung bauchig erweiternde und wieder verengende Außenkontur aufweist, wobei diese Außenkontur beispielsweise die Form eines Kreiszylindersegments aufweist.

Die sich bauchig erweiternde und wieder verengende Außenkontur wird von den Zähnen 142 beiderseits jedes Magnetkreiselements 74, 76 umgriffen und führt somit zu einer formschlüssigen Fixierung der Magnetkreiselemente 74 bzw. 76 sowohl gegen eine Bewegung in radialer Richtung als auch in azimutaler Richtung und zusätzlich gegen eine Rotation um eine zur Achse 14 parallele Achse.

Die Zähne 142 bzw. 144 erstrecken sich von den Läuferringen 138 und 140 in Richtung parallel zur Achse 14 über dieselbe Distanz wie die Magnetkreiselemente 74, so daß der Läufer 12 im Bereich der Magnetkreiselemente 74 und 76 durchgehend in einer Ebene umlaufende seitliche Kreisringflächen 160 aufweist.

Allerdings erstrecken sich die Zähne 142 und 144 in radialer Richtung lediglich soweit, daß sie jeweils den mittleren Bereich 146 der Magnetkreiselemente 74 und 76 formschlüssig umgreifen, so daß die Magnetkreiselemente 74, 76 mit ihren radial innen liegenden Vorsprüngen 148 über eine Innenseite 164 überstehen und mit ihren radial außen liegenden Vorsprüngen 150 über eine Außenseite 166.

Vorzugsweise sind die Zähne 142 und 144 einstückig an die Läuferringe 138 und 140 angeformt und aus einem magnetisch nicht leitenden, jedoch elektrisch gut leitenden Material, wie zum Beispiel Aluminium hergestellt.

Die Polelemente 34 können prinzipiell einstückig aus gesintertem Material oder Eisenpulver hergestellt sein. Besonders vorteilhaft ist ein Aufbau der Polelemente 34 aus einzelnen Blechen 180, welche gegeneinander isoliert sind und parallel zu den Oberflächen 96, 98 verlaufen. Diese Bleche sind insbesondere E-förmig ausgebildet. Beispielsweise handelt es sich bei diesen einzelnen Blechen um Elektrobacklackbleche.

Ein derartiges Polelement 34 stellt somit ein Blechpaket aus aneinander anliegenden Blechen 180 dar, welche in der Azimutalrichtung 112 aufeinander geschichtet sind und sich parallel zu den Oberflächen 96, 98 erstrecken. Bevorzugterweise sind diese Bleche Elektrobacklackbleche, alternativ dazu ist es aber auch denkbar, diese Bleche aus metallischen Gläsern auszubilden.

In gleicher Weise sind die Magnetkreiselemente 74 und 76 entweder einstückig aus Eisenpulver hergestellt oder ebenfalls als Blechpakte, welche, wie in Fig. 3 dargestellt, aus einer Stapelrichtung 182, die parallel zur Achse 14 verläuft, zu einem Blechpaket aufeinander geschichteten und gegeneinander isolierten Blechen 184 bestehen. Diese Bleche sind beispielsweise ebenfalls Elektrobacklackbleche. Aufgrund der kleinen Baugröße der Magnetkreiselemente 74, 76 ist es aber auch möglich, als Bleche 184 beispielsweise Bleche aus metallischen Gläsern zu verwenden.

Zur Isolation der Statorwicklungen 56 und 58, ist, wie am Beispiel der Polnut 46 dargestellt, die Statorwicklung 58 von einer als Ganzes mit 190 bezeichneten Nutauskleidung

versehen, welche ein Nutbodenelement 192 und zwei sich von diesem erhebende Nutseitenwandelemente 194 und 196 aufweist, welche eine C-förmige Auskleidung für den hinteren Nutabschnitt 50 der Polnut 46 bilden, wobei das Nutbodenelement 192 am Nutboden 54 anliegt und die beiden Nutseitenwandelemente 194 und 196 an beiden Seitenwänden 198 bzw. 200 der jeweiligen Polnut 46. Das Nutbodenelement 192 und die Nutseitenwandelemente 194 und 196 sind dabei so ausgebildet, daß sie den Nutboden 54 und die Nutseitenwände 198 und 200 vollständig abdecken, um eine elektrische Isolation zwischen der in der jeweiligen Polnut 46 liegenden Statorwicklung 58 zu schaffen. Zur Festlegung der Nutauskleidung 190 ist die jeweilige Polnut 46 an einem dem Nutboden 54 abgewandten Ende des hinteren Nutabschnitts 50 mit zwei einander gegenüberliegenden Ausnehmungen 202 bzw. 204 versehen, wobei jede dieser Ausnehmungen 202, 204 sich in den jeweiligen Polfinger 40 bzw. 42 hineinerstreckt und dem Nutboden 54 zugewandt eine Einlaufwand 206 aufweist sowie dem vorderen Nutabschnitt 66 zugewandt eine Haltewand 208, welche sich vorzugsweise quer, insbesondere senkrecht, zu einer Längsachse 210 der jeweiligen Polnut 46 erstreckt, während die Einlaufwand 206 vorzugsweise mit der Längsachse 210 einen spitzen Winkel einschließt, so daß sich die Ausnehmungen 202, 204 vom Nutboden 54 in Richtung des vorderen Nutabschnitts 66 gesehen im Bereich der Einlaufwände 206 sich zunehmend bis zur Haltewand 208 erweitern.

Zur Festlegung der Nutauskleidung 190 sind die Nutseitenwandelemente 194 in ihren dem Nutboden 192 abgewandten Endbereichen mit jeweils einer Auskragung 212 bzw. 214 versehen, welche im gleichen Winkel zur

Längsachse 120 verlaufen wie die Einlaufwände 206 der Ausnehmungen 202, 204 und Endkanten 216, 218 aufweisen, mit welchen die Nutseitenwandelemente 196 gegen die Haltewand 208 der jeweiligen Ausnehmung 202, 204 anliegen und somit die Nutauskleidung 190 gegen eine Bewegung in Richtung des vorderen Nutabschnitts 66 sichern.

Um zusätzlich die Nutauskleidung 190 auch noch gegen eine Bewegung in der Azimutalrichtung 112 in der jeweiligen Polnut 46 festzulegen, sind die Nutseitenwandelemente 194, 196 im Bereich ihrer Auskragungen 212 und 214, und zwar beiderseits der Endkanten 216 bzw. 218, mit Sicherungsnasen 220 bzw. 222 versehen, die die Oberflächen 96 bzw. 98 des jeweiligen Polelements 34 beiderseits der Ausnehmungen 202, 204 übergreifen und an diesen anliegen. Vorzugsweise sind dabei die Nutseitenwandelemente 194, 196 in der Azimutalrichtung 112 breiter ausgeführt als die Polelemente 34, so daß die Nutseitenwandelemente 194 bzw. 196 mit ihren seitlichen Randbereichen 224 bzw. 226 über die Polelemente 34 und somit auch über die Nutseitenwände 198, 200 geringfügig bestehen.

Zur Fixierung der jeweiligen Statorwicklung 58 in der jeweiligen Polnut 46 ist die Nutauskleidung 190 mit einem Nutdeckel 230 verschließbar, welcher sich zwischen den beiden Ausnehmungen 202, 204 erstreckt und mit zwei Seitenkanten 232 bzw. 234 an den Auskragungen 212 bzw. 214 anliegt, wobei diese Seitenkante 232, 234n entsprechend der Neigung der Auskragungen 212, 214 relativ zur Längsachse 210 ebenfalls abgeschrägt sind. Ferner liegt

der Nutdeckel 230 mit beispielsweise durch seine Oberseite 236 gebildeten Rastflächen 238 bzw. 240 an der Haltewand 108 der jeweiligen Ausnehmung 202 bzw. 204 an und ist somit ebenfalls gegen eine Bewegung in Richtung des vorderen Nutabschnitts 66 gesichert. Vorzugsweise ist der Nutdeckel 230 aus einem flexiblen, in die Ausnehmung 202, 204 einrastbaren Material gebildet, so daß der Nutdeckel 230 in die jeweilige Polnut 46 eingeführt werden kann und in die Ausnehmungen 202, 204 bei bereits eingesetzter Nutauskleidung 190 im Sinne einer Schnappverbindung einschnappt.

Vorzugsweise sind die Nutauskleidungen 190 für aufeinanderfolgende Polelemente 34, zusammenhängend aus einem geradegerichteten Flachmaterialstreifen 242 ausgestanzt, wobei alle Nutauskleidungen 190 der aufeinanderfolgenden Polelemente durch einen Steg 244 zusammenhängen. Der Steg 244 verläuft dabei im Bereich der Nutbodenelemente 192 der jeweiligen Nutauskleidungen 190 und verbindet diese miteinander.

Vorzugsweise ist der Steg 244 so dimensioniert, daß die Nutauskleidung 190 auf einen Krümmungsradius biegbar ist, welcher dem Kreisring entspricht, auf welchem die Nutböden aller einander entsprechenden Polnuten 46 der jeweiligen Polelemente 34 eines Stators 30 liegen.

Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine, dargestellt in Fig. 8, sind in dem hinteren Nutabschnitt 50 der Polnut 46 zwei Nutauskleidungen 190a und 190b vorgesehen, die jeweils mit einem Nutdeckel 230a bzw. 230b abgeschlossen

sind. In diesem Fall sitzt das Nutbodenelement 192a der Nutauskleidung 190a auf dem Boden 54, während das Nutbodenelement 192b auf der Oberseite 236a des Nutdeckels 230a sitzt. Somit nimmt die Nutauskleidung 290a lediglich eine Teilwicklung 58a der Statorwicklung 58 auf und die Nutauskleidung 190b eine Teilwicklung 58b der Statorwicklung 58. Daher bildet der Nutdeckel 230a ein Distanzstück zwischen den beiden Teilwicklungen 58a und 58b, so daß sich dann, wenn sich der Nutdeckel 230a in Azimutalrichtung 112 lediglich über die Breite des jeweiligen Polelements 34 erstreckt, in den Zwischenräumen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Polelementen 34 ein Luftspalt zwischen den Teilwicklungen 58a und 58b bildet, welcher im Bereich zwischen den Polelementen einen zwischen beiden Teilwicklungen 58a und 58b hindurchgehenden Strom eines Kühlmediums zuläßt.

Bei einem dritten Ausführungsbeispiel einer erfindungsmaßen elektrischen Maschine, dargestellt in Fig. 9, umfaßt die Nutauskleidung 190' lediglich zwei flächenhaft ausgebildete Nutseitenwandelemente 194' und 196', welche durch ein Nutbodenelement 192' miteinander verbunden sind. Die Nutseitenwandelemente 194' und 196' sowie das Nutbodenelement 192' sind auf ihrer Außenseite mit einer Kleberschicht 252, vorzugsweise einer Schmelzkleberschicht, versehen, so daß nach Einführen der Nutauskleidung 190' in die Polnut 46 und Erhitzen beider durch die Schmelzkleberschicht 252 die Nutseitenwandelemente 194' und 196' mit den Nutseitenwänden 198 bzw. 200 verkleben und das Nutbodenelement 192' mit dem Nutboden 54 verklebt.

Gleichzeitig ist die Nutauskleidung 190' auf ihrer Innenseite ebenfalls mit einer Kleberschicht 252, vorzugsweise einer Schmelzkleberschicht, versehen, mit welcher eine Verbindung zwischen der in die Nutauskleidung 190' eingelagerten Statorwicklung 58 und der Nutauskleidung 190' erfolgt.

In diesem Fall ist die Statorwicklung 58 aufgrund der Kleberschicht 252 mit der Nutauskleidung 190' verbunden, und die Nutauskleidung 190' über die Kleberschicht 252 mit dem jeweiligen Polelement 34, so daß bereits eine Fixierung der Statorwicklung 58 in der Polnut 46 gegen eine Verschiebung derselben in Richtung des vorderen Nutabschnitts 66 erreicht ist.

Eine zusätzliche Sicherung ist durch einen Nutdeckel möglich, welcher in gleicher Weise wie der Nutdeckel 230 in Ausnehmungen 202, 204 der Polnut 46 einschnappbar ist. Allen Ausführungsbeispielen ist gemeinsam, daß die jeweilige Nutauskleidung 190 aus einem dünnen papierartigen Flachmaterial, beispielsweise dem Material Nomex, hergestellt ist, um einen guten Wärmeübergang zwischen der Statorwicklung und den Polelementen zu gewährleisten.

Bei einem vierten Ausführungsbeispiel, dargestellt in Fig. 10 und 11, sind die Polnuten 44, 46 im Bereich der hinteren Nutabschnitte 48, 50 durch jeweils einen Distanzfinger 260, 262 geteilt, welcher sich von dem Nutboden 52, 54 ausgehend mittig zwischen den jeweiligen

Polfingern 38, 40 bzw. 40, 42 erstreckt. Durch diesen Distanzfinger 260, 262 ist die jeweilige Statorwicklung 56 bzw. 58 in Teilwicklungen 56a und 56b bzw. 58a und 58b unterteilt.

Bei diesem Ausführungsbeispiel besteht die Nutisolation 190" für die jeweilige Polnut 44 bzw. 46 aus zwei Teilnutisolationen 190a und 190b, welche in die hinteren Teilnutabschnitte 48a bzw. 48b oder 50a bzw. 50b einlegbar sind.

Die Teilnutauskleidungen 190a und 190b sind dabei unter Berücksichtigung eines sich ändernden Durchmessers ungefähr spiegelsymmetrisch zueinander ausgebildet.

Jede der Teilnutauskleidungen 190a, 190b umfaßt ein Nutseitenwandelement 196a bzw. 196b, welches an die jeweilige Nutseitenwand anlegbar ist, ein Teilnutbodenelement 192a, b, welches jeweils auf einen Teilnutboden 52a bzw. 52b oder 54a bzw. 54b auflegbar ist und dem jeweiligen Nutseitenwandelement 196a, 196b gegenüberliegend ein Distanzfingerelement 264a bzw. 246b, welches an eine jeweilige Distanzfingerseite 266a bzw. 266b oder 268a bzw. 268b anlegbar ist, diese bis zur jeweiligen Distanzfingerspitze 270 oder 272 überdeckt und zusätzlich noch auf die gegenüberliegende Distanzfingerseite 266b bzw. 266a oder 268b bzw. 268a mit einem Endbereich 274a bzw. 274b umlegbar ist.

Vorzugsweise sind auch die einzelnen Teilnutauskleidungen 190a, b durch den Steg 244 miteinander verbunden, wobei der Steg 244 die Teilnutbodenelemente 192a, b miteinander verbindet.

Im eingebauten Zustand sind die Nutseitenwandelemente 196a, 196b in gleicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel mit den Auskragungen 214 versehen und liegen mit ihren Endkanten 218 in Ausnehmungen 202, 204 an, die in gleicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel in den Polelementen 34 ausgebildet sind.

Darüber hinaus sind die hinteren Nutabschnitte 48 und 50 jeweils ebenfalls mit Nutdeckeln 230 verschlossen, welche in gleicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel in die Ausnehmungen 202 bzw. 204 einrastbar sind.

Die mit dem ersten Ausführungsbeispiel identischen Teile sind daher mit denselben Bezugszeichen versehen, so daß hinsichtlich deren Ausbildung auf die Ausführungen zum ersten Ausführungsbeispiel vollinhaltlich Bezug genommen werden kann.

Ferner ist die Statorwicklung vorzugsweise als aus Kupferdraht gewickelte Spule hergestellt, welche entweder in die Nutauskleidungen 190 aller Polelemente 34 eingelegt und dann mit Träufelharz beträufelt wird, oder aus mit Backlack beschichtetem Kupferdraht vorgewickelt und verbacken und dann in die Nutauskleidungen 190 aller Polelemente 34 eingelegt wird.

In beiden Fällen ist einerseits die Verbindung aller Nutauskleidungen 190 mittels des Stegs 244 von Vorteil, da dieser ein gemeinsames Einsetzen aller Nutauskleidungen 190 in alle Polelemente 34 erlaubt und andererseits bereits eine Vorpositionierung der Nutauskleidungen 190 relativ zu den Polelementen bewirkt. Im eingebauten Zustand bewirkt der Steg 244 ferner noch eine Sicherung der Nutbodenelemente 192 in Azimutalrichtung, da sich über den Steg 244 alle Nutbodenelemente gegeneinander abstützen.

In den folgenden Figuren sind gleiche oder gleichwirkende Bauteile mit gleichen Bezugsziffern gekennzeichnet.

Mit "W" ist in Fig. 12 die Achse einer (nicht dargestellte) Läuferwelle eines Läufers einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine gekennzeichnet.

Radial zur Achse W einer Läuferwelle sind insgesamt 64 Polelemente 310 vorgesehen. Jedes Polstück 310 besteht aus einer Vielzahl, aufeinander angeordneter Elektrobacklackbleche und weist folgende Form auf: einen mittleren Polabschnitt 310m, von dem aus - in Richtung der Achse W - jeweils drei Polfinger 310f auf beiden Seiten verlaufen, die zwischen sich entsprechend zwei Polnuten 310n ausbilden. Wie Fig. 12 zeigt, ergibt sich dabei in der Seitenansicht eine Konfiguration eines doppelten "E" entlang einer gedachten Symmetriearchse radial zur Achse "W" durch den mittleren Polabschnitt 310m.

Die jeweils mittleren Polabschnitte 310 sitzen innenseitig auf einem konzentrisch zur Achse W der Laufwelle verlaufenden Widerlager 310w auf.

Die Polelemente 310 sind symmetrisch um die Wellenachse W angeordnet und werden außenseitig von Spannringen 310s gehalten.

Während der um die mittlere Polabschnitte 310m herum verlaufende Spannring 310s außenseitig glatt ausgebildet ist, sind die an den freien Enden der äußeren Polfinger 310f umfangsseitig angeordneten Spannringe (Schrumpfringe) 310s' mit einer Vielzahl von in Richtung der Achse W verlaufenden Nuten ausgebildet, die der Führung von Kühlluft dienen, wie nachstehend noch beschrieben wird.

In den Polnuten 310n liegen Isolierkörper 312 ein, deren grundsätzlicher Aufbau sich aus den Figuren 13, 14 ergibt.

Fig. 13 zeigt dabei ein Teilsegment einer Nutauskleidung oder eines Isolierkörpers 312, der einen ringförmigen, durchgehenden mittleren Bereich 312m aufweist, von dem sich radial nach außen und innen Abschnitte 312a, 312i erstrecken, die vor dem Einsetzen in die korrespondierende Polnut 10n um 90° aufgebogen werden.

Auf diese Weise können mit einem einzigen Isolierkörper 312 sämtliche Innenflächen zwischen gegenüberliegenden Abschnitten der Polfinger 310f und der zugehörigen Fläche des mittleren Polabschnittes 10m belegt werden.

Zur Fixierung des Isolierkörpers 312 in den Polnuten 310n sind die Abschnitte 312a, 312i an ihren freien Enden mit nach außen vorkragenden Rastnasen 312r ausgebildet, die - wie Fig. 14 zeigt - in korrespondierende schlitzartige Aufnahmen 310a der Polfinger 310f einrasten.

Aus der Zusammenschau der Fig. 12 bis 14 ergibt sich weiter, daß in jeder Polnut 310n (also sowohl der inneren, wie auch der äußeren Polnut) jeweils zwei Erregerspulen 314i, 314a übereinander angeordnet sind und gegenüber den Polfingern 310f bzw. den mittleren Polabschnitt 310m durch den beschriebenen Isolierkörper 312 und untereinander durch isolierende Distanzstücke 316 isoliert sind, die eine Ringform aufweisen und ebenfalls in den schlitzförmigen Ausnahmen 310a der Polfinger 310f verrastet werden.

Auf diese Weise wird nicht nur eine besonders einfache und sichere Isolierung der Teile gegeneinander erreicht, vielmehr wird gleichzeitig auch eine (unerwünschte) Verschiebung der ringförmigen Erregerspulen 314i, 314a in Richtung der Achse W und damit aus den Polnuten 310n heraus verhindert.

Die elektrischen Anschlußelemente für die Erregerspulen 314i, 314a verlaufen zwischen den beabstandeten Polfingern 310f nach außen, wie in Fig. 12 angedeutet.

Fig. 14 zeigt, daß die Erregerspulen 314i, 314a sich nur über einen Teil der Höhe der Polnuten 310n erstrecken.

Der verbleibende Abschnitt der Polnuten 310n wird - wie Fig. 12 zeigt - von Läuferblechringen 316i, 316a ausgefüllt, die auf einer Trägerscheibe 318, die hier aus Aluminium besteht und über Kunststoffträger 318k verbunden sind, angeordnet sind. Die Läuferblechringe 316i, 316a sind auf ihren inneren und äußeren Umfangsflächen jeweils mit nutartigen Vertiefungen ausgebildet, und zwar korrespondierend zur Verteilung der Polfinger 310f, so daß die Läuferblechringe 316i, 316a paßgenau in den von den Erregerspulen 314i, 314a nicht ausgefüllten Bereich der Polnuten 310n eingesetzt werden können.

Ohne weiteres kann der Läufer aber auch aus anderen Werkstoffen ausgebildet sein.

Die Trägerscheibe 318 sitzt auf der Welle auf und wird insgesamt von einem hier nicht näher beschriebenen Gehäuse 320 umfaßt.

Die mittleren Polabschnitte 310m sowie die Polfinger 310f der Polstücke sind mit einem Zwei-Komponenten Epoxidharz vergossen, ebenso wie die Erregerspule 314i, 314a innerhalb der Polnuten 310n.

Die Nutausbildung oder der Isolierkörper 312 besteht beispielsweise aus einem Hartpapier.

Die Polelemente 310 sind aus Weicheisen-Blechen gebildet, während die Erregerspulen 314i, 314a aus Kupferdraht gewickelte Spulen sind.

Die (nicht dargestellte) Welle des Läufers besteht im Ausführungsbeispiel aus Stahl, ebenso wie die Spannringe (Schrumpfringe) 310, 310s.

Die in den Figuren dargestellte Maschine ist als oberflächengekühlte Maschine ausgeführt. Hierzu ist es notwendig, die in der Maschine entstehende Verlustwärme an die Maschinenoberfläche und von dort an die Umgebung abzuleiten. Der Wärmetransport in der Maschine erfolgt durch Wärmeleitung und erzwungene Konvektion der Maschinenluft.

Die konstruktive Anordnung der Vergußelemente zwischen den Stator-Eisenelementen, d.h. insbesondere den Polelementen 310, ist so gewählt, daß eine Wärmeabfuhr über den Weg Vergußelement-Schrumpfring 310s - Gehäuse 312, aber auch durch erzwungene Konvektion (Luftumwälzung) möglich ist. Damit eine erzwungene, ausreichend turbulente Strömung in der Maschine erzeugt werden kann, sind auf den Läuferscheiben 318 Ventilatorflügel 322 angebracht.

Die Luft wird dann in Pfeilrichtung L (Fig. 12) als Doppelströmung von beiden Läufer-Trägerscheiben 318 umgewälzt. Auf der Rückseite der Läuferscheibe 318 gibt die Luft die aufgenommene Wärme an das korrespondierende Lagerschild des Gehäuses 312 ab. Auch hier können wieder auf der Innenseite des Gehäuses 312 Kühlrippen angeordnet werden.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Elektrische Maschine, umfassend einen sich um eine Achse drehenden Läufer und einen Stator, welcher einen Satz mit einer Vielzahl von um die Achse herum in gleichen Winkelabständen angeordneten C-förmigen Polelementen umfaßt, von denen jedes mit einem Basissteg und zwei von diesem abstehenden Polfingern eine Polnut bildet, in welcher eine Statorwicklung liegt, dadurch gekennzeichnet, daß die Polnut (44, 46) mit einer zwischen der Statorwicklung (56, 58) und jedem Polelement (34) liegenden Nutauskleidung (190) versehen ist und daß die Nutauskleidung (190) ein elektrisch isolierendes flächig zwischen der Statorwicklung (56, 58) und dem Polelement (34) liegendes Material umfaßt.
2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) einen C-ähnlich geformten isolierenden Bereich umfaßt, welcher in der Polnut (44, 46) liegt.
3. Elektrische Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der C-ähnlich geformte Bereich als ein stückiges Teil aus dem elektrisch isolierenden Flachmaterial ausgebildet ist.

4. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorwicklung (56, 58) über die Nutauskleidung (190) an den Polelementen (34) abgestützt ist.
5. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) die Statorwicklung (56, 58) in einem Zwischenraum zwischen zwei Polelementen (34) mindestens ungefähr die Hälfte einer Umfangsfläche der jeweiligen Statorwicklung (56, 58) freigibt.
6. Elektrische Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) die Statorwicklung (56, 58) in einem Zwischenraum zwischen zwei Polelementen (34) im wesentlichen freigibt.
7. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Polelement (34) mit einer eigenen Nutauskleidung (190) versehen ist.
8. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) in jedem Polelement (34) gegen eine Verschiebung in Azimutalrichtung (112) der Statorwicklung (56, 58) relativ zum Polelement (34) gesichert ist.

9. Elektrische Maschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190') mit dem jeweiligen Polelement (34) verklebt ist.
10. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) an dem jeweiligen Polelement (34) formschlüssig fixiert ist.
11. Elektrische Maschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) mindestens ein quer zur Azimutalrichtung (112) in Richtung auf das Polelement (34) vorspringendes Sicherungselement (220, 222) aufweist.
12. Elektrische Maschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Sicherungselement (220, 222) an einer Oberfläche (96, 98) des jeweiligen Polelements (34) anliegt.
13. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidungen (190) aufeinanderfolgender Polelemente (34) durch einen Steg (244) miteinander verbunden sind.
14. Elektrische Maschine nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Steg (244) im Bereich eines Nutbodenelements (192) der Nutauskleidungen (190) angeordnet ist.

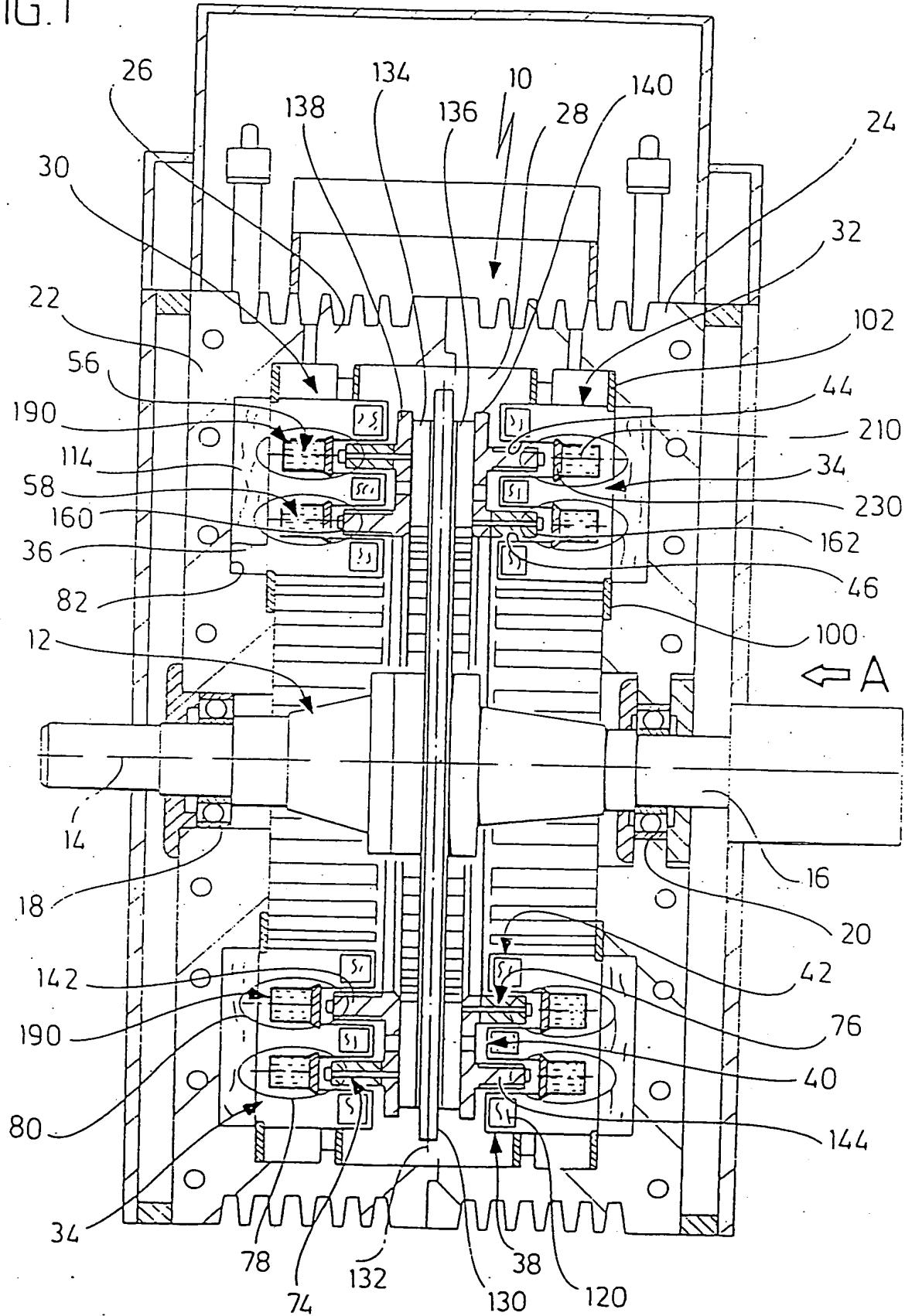
15. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) gegen eine Bewegung parallel zu den Polfingern (38, 40, 42) in dem Polelement (34) gesichert ist.
16. Elektrische Maschine nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) formschlußig in dem jeweiligen Polelement (34) gesichert ist.
17. Elektrische Maschine nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) in eine Ausnehmung (202, 204) im Polelement (34) eingreift.
18. Elektrische Maschine nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung (190) mit einer Endkante (216, 218) eines Nutseitenwandelements (194, 196) in die Ausnehmung (202, 204) des Polelements (34) eingreift.
19. Elektrische Maschine nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Nutseitenwandelement (194, 196) eine in Richtung der Ausnehmung (202, 204) in dem Polelement (34) umgebogene Auskragung (212, 214) aufweist.
20. Elektrische Maschine nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Auskragung (212, 214) in Form einer Schnappverbindung in die Ausnehmung (202, 204) einrastbar ist.

21. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorwicklung (56, 58) gegen eine Bewegung parallel zu den Polfingern (38, 40, 42) in der Polnut (44, 46) durch einen Nutdeckel (230) gesichert ist.
22. Elektrische Maschine nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Nutdeckel (230) formschlüssig an dem Polelement (34) gehalten ist.
23. Elektrische Maschine nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Nutdeckel (230) in Ausnehmungen (202, 204) in den Polfingern (38, 40, 42) eingreift.
24. Elektrische Maschine nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Nutdeckel (230) in die für die Endkanten (216, 218) der Nutseitenwandelemente (194, 196) vorgesehenen Ausnehmungen (202, 204) eingreift.
25. Elektrische Maschine nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Nutdeckel (230) die Auskragungen (212, 214) der Nutseitenwandelemente (194, 196) in die Ausnehmungen (202, 204) drückt.
26. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 21 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Nutdeckel (230) mit dem Polelement (34) verrastbar ist.

27. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutauskleidung aus dem Flachmaterial gestanzt und C-förmig gebogen ist.
28. Elektrische Maschine nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß alle Nutauskleidungen (190) zusammenhängend aus dem Flachmaterial gestanzt und anschließend C-förmig gebogen sind.
29. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorwicklung (56, 58) über die Nutauskleidung (190) mit den Polelementen (34) thermisch gekoppelt ist.
30. Elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß diese eine Statorwicklung (56, 58) aufweist, welche ringförmig um die Achse (14) des Läufers (12) herum und durch die Polnuten (44, 46) hindurch verläuft.

1/10

FIG. 1



2/10

FIG. 2

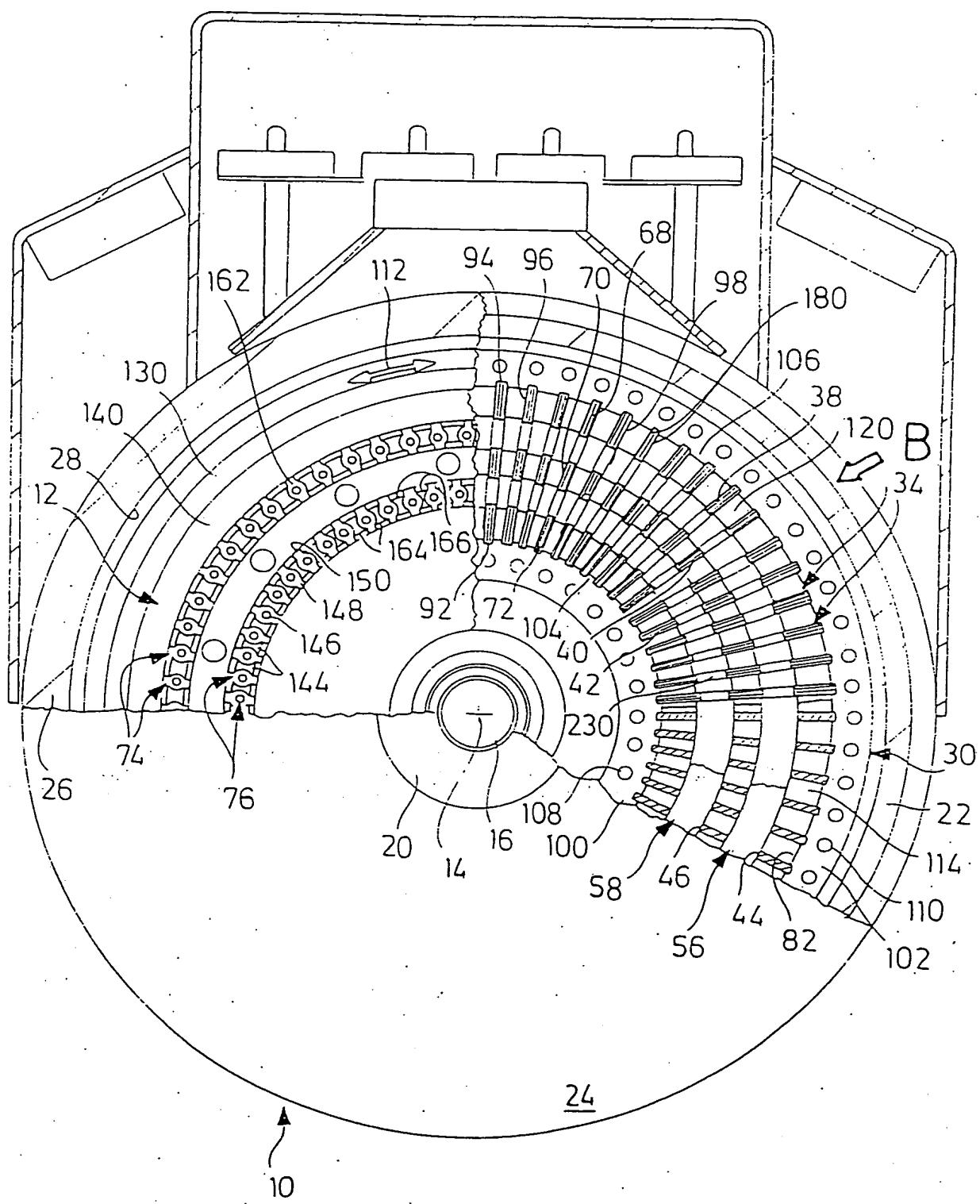
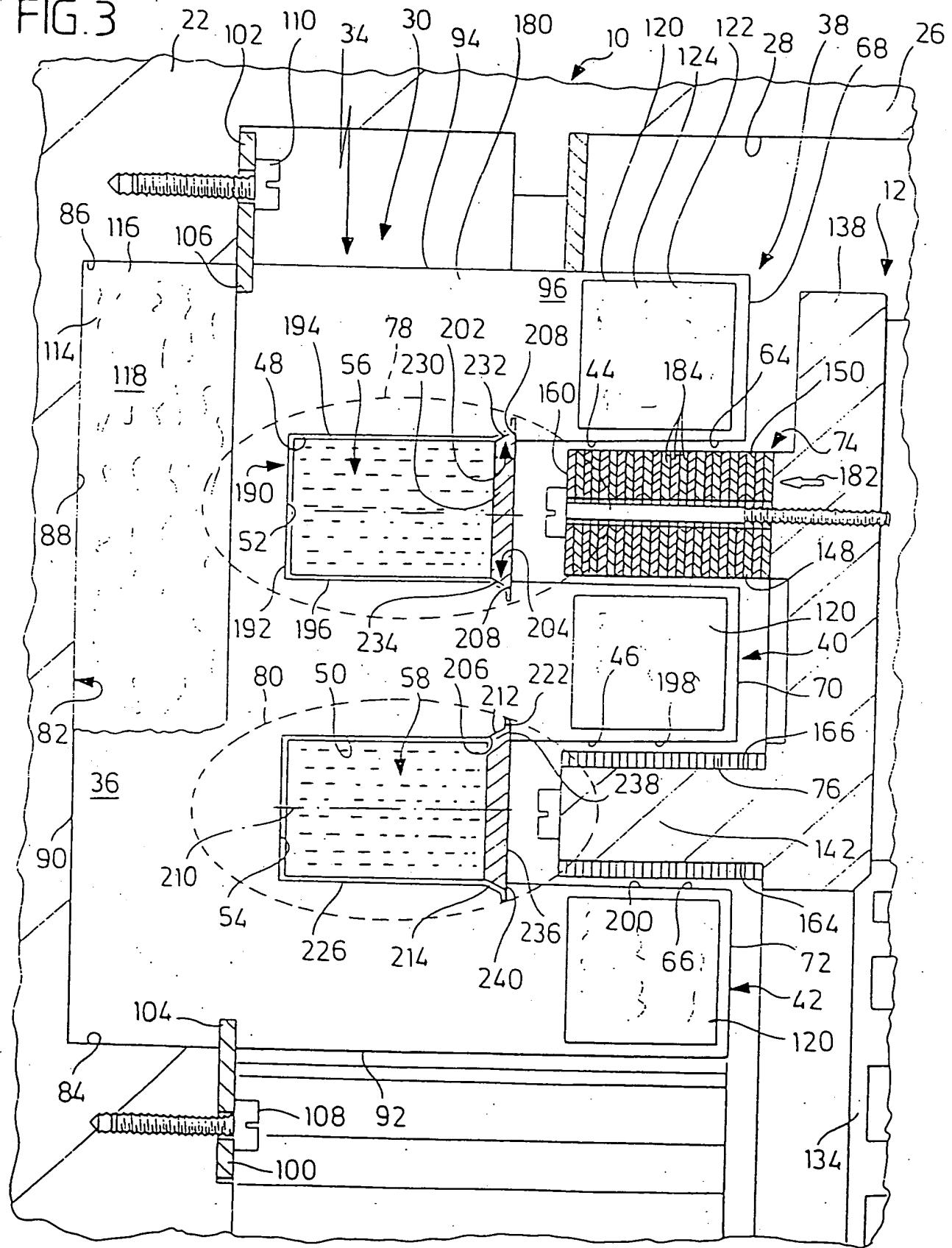


FIG. 3



4/10

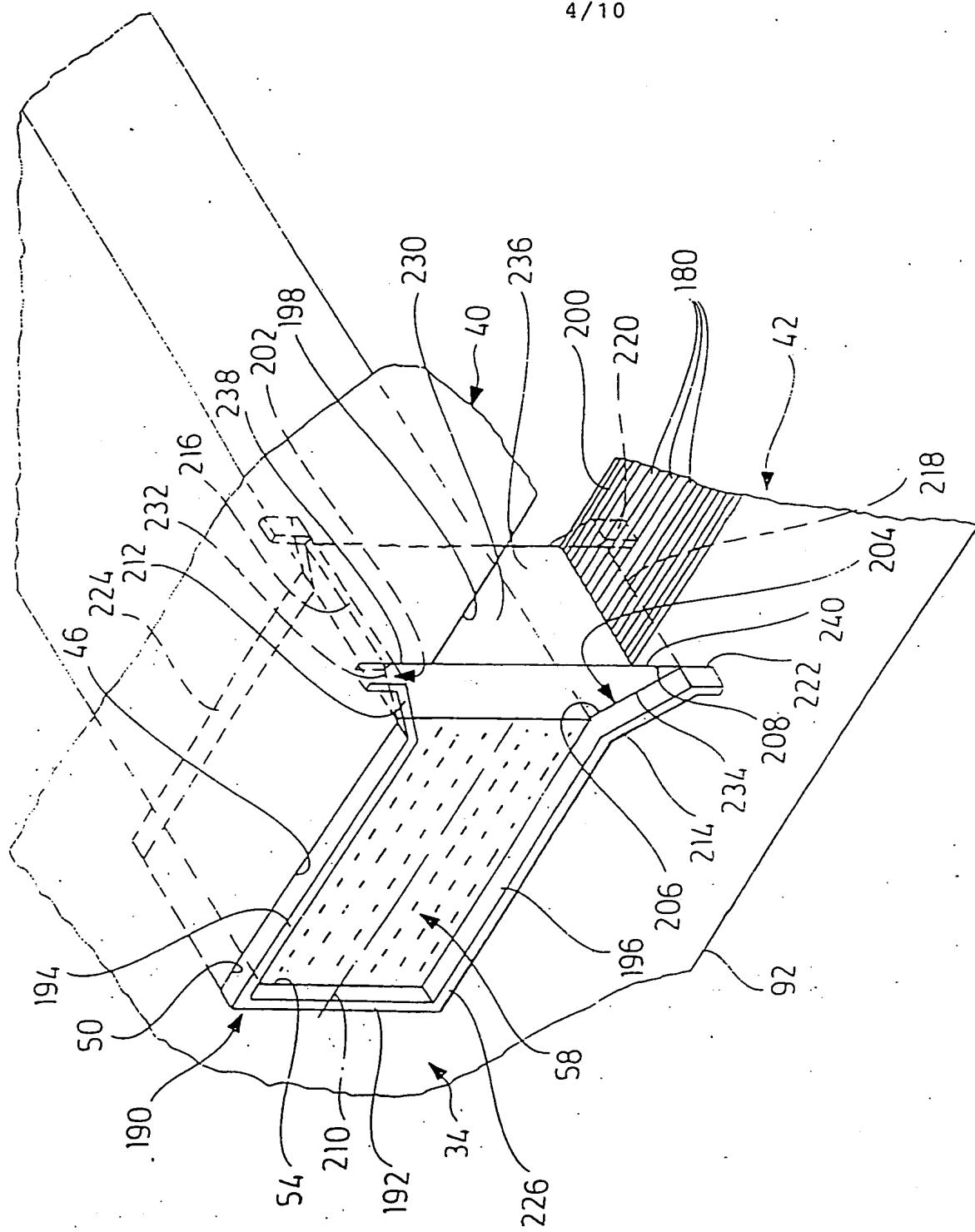


FIG. 4

5/10

FIG. 5

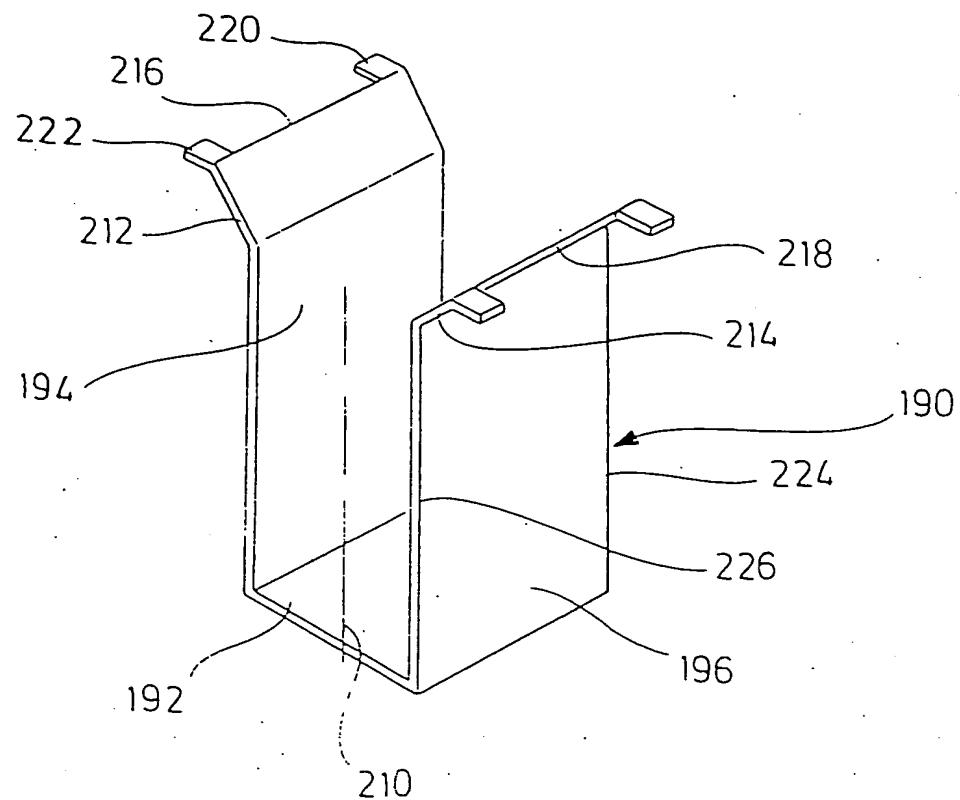
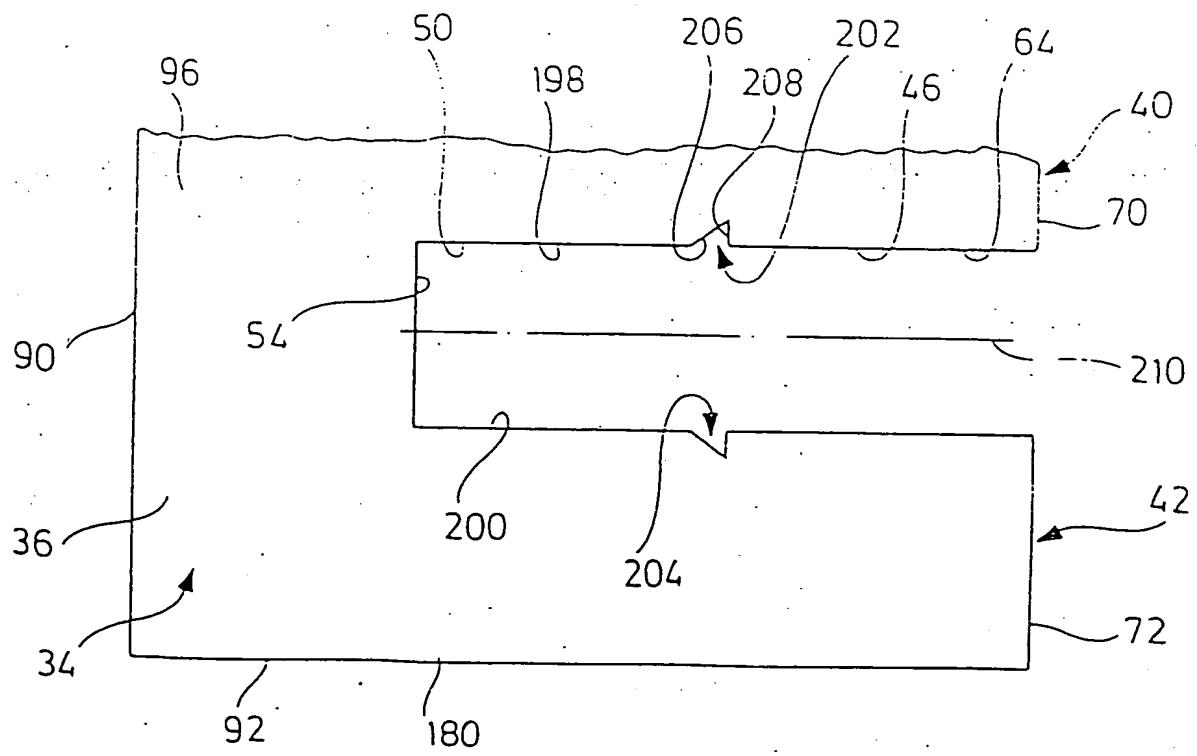


FIG. 6



6/10

FIG. 7

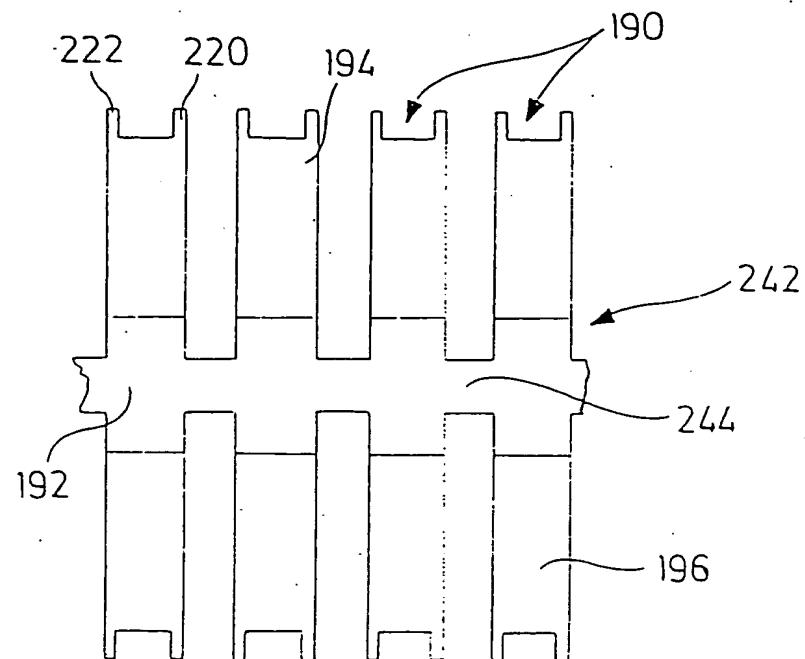
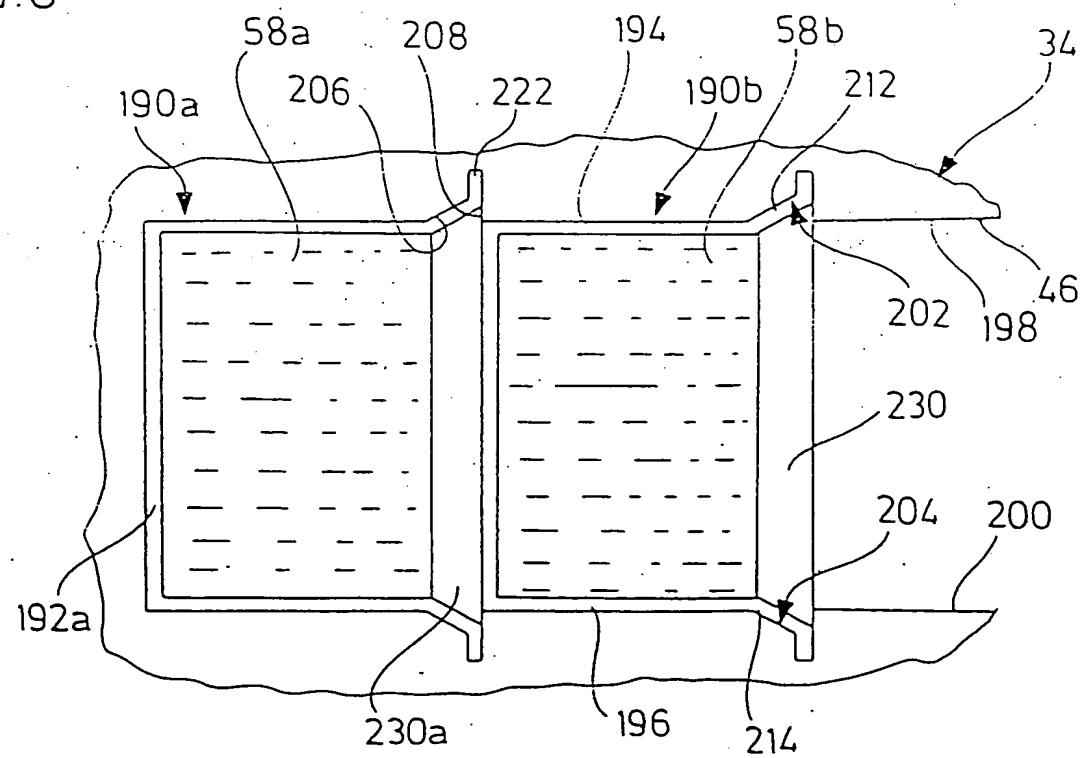


FIG. 8



7/10

FIG. 9

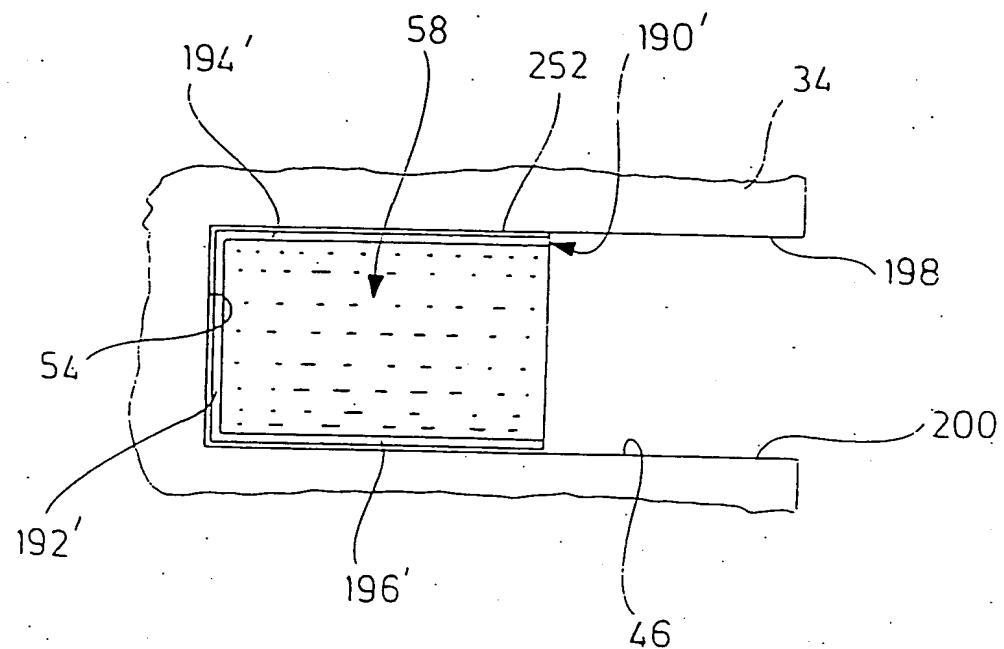
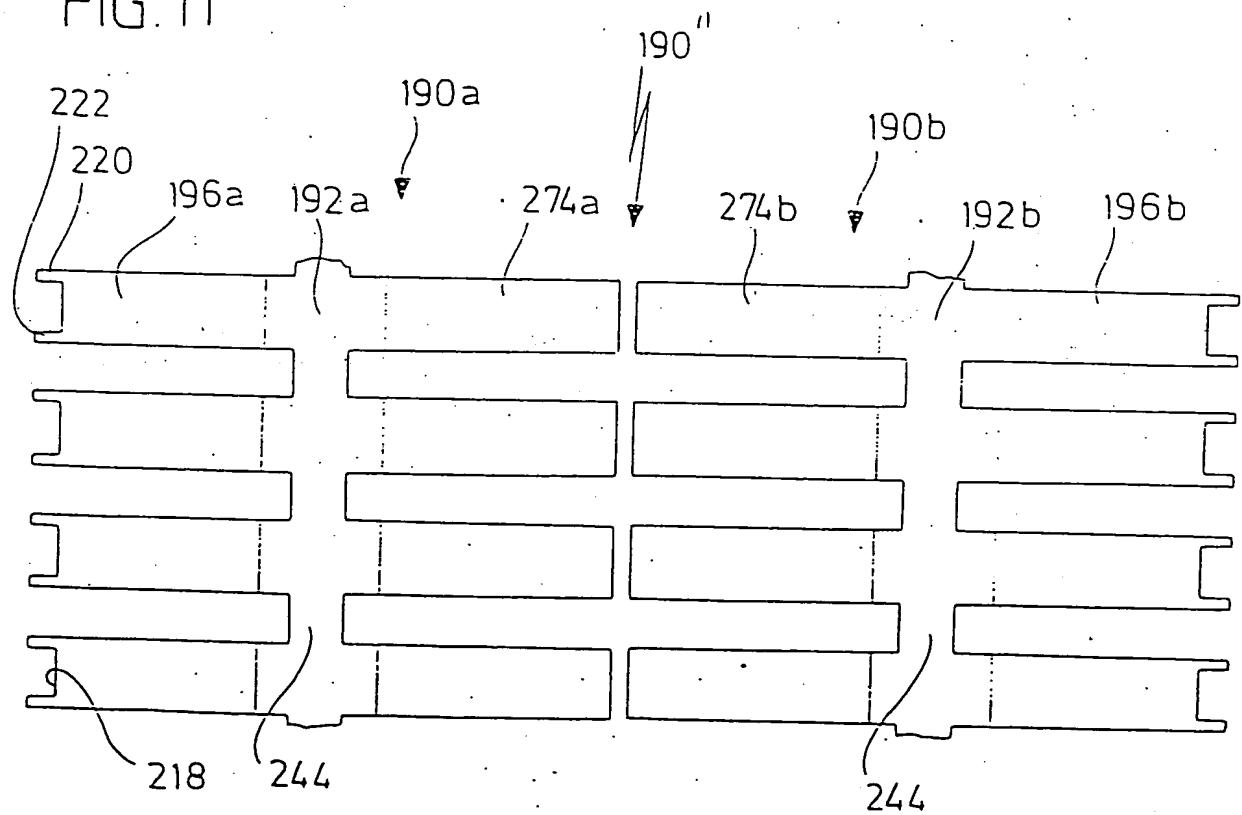


FIG. 11



8/10

FIG. 10

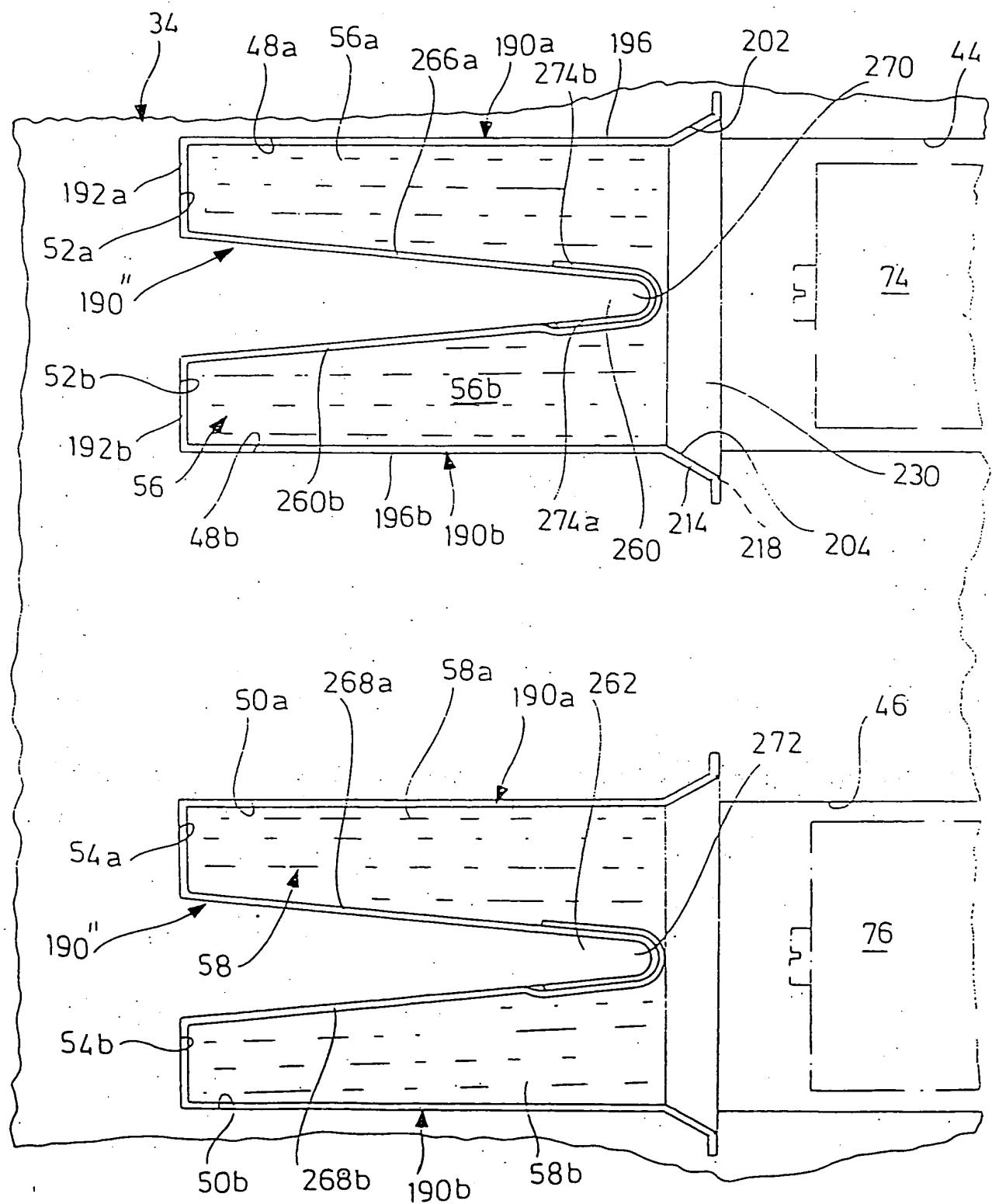


FIG. 12

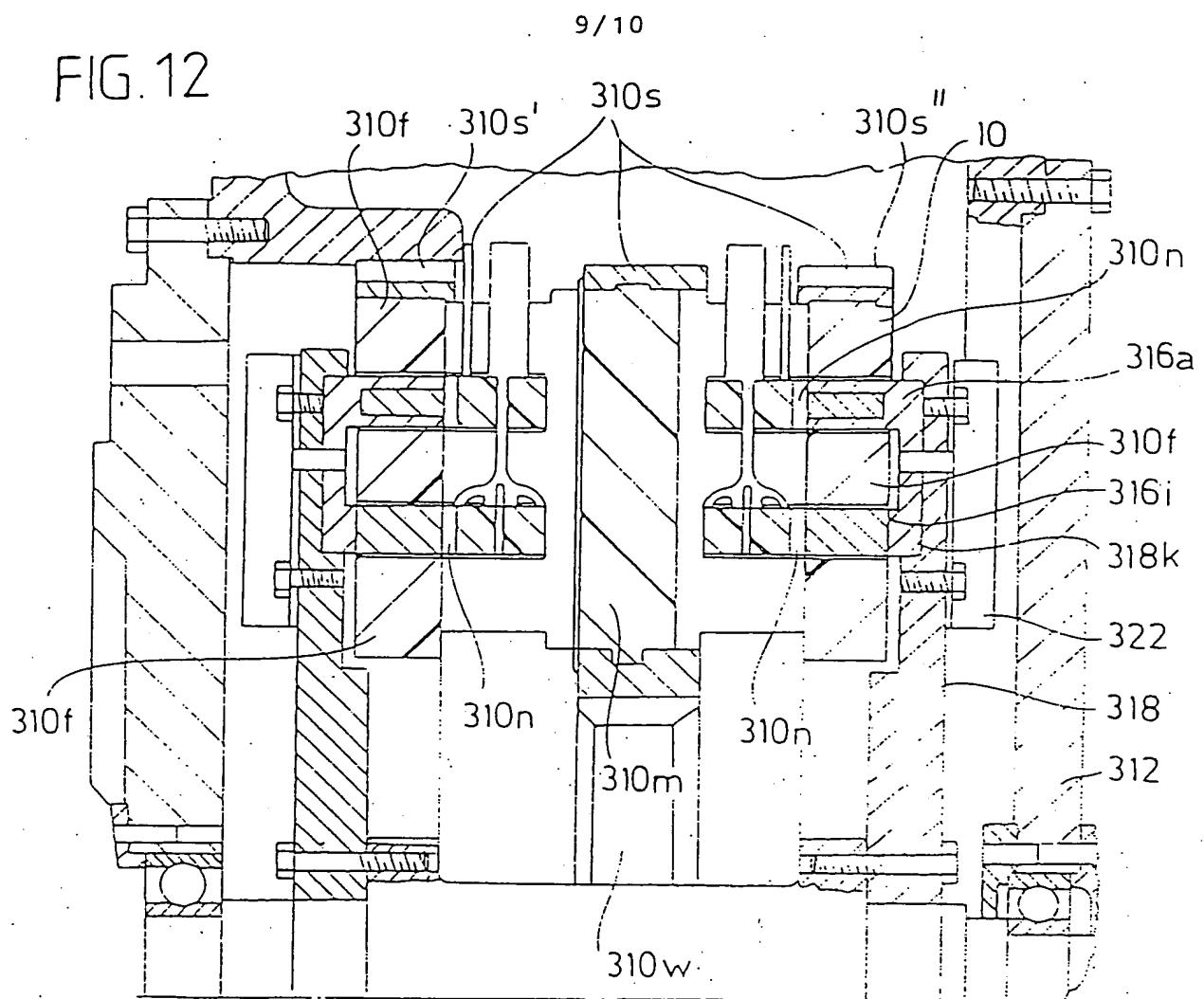


FIG. 13

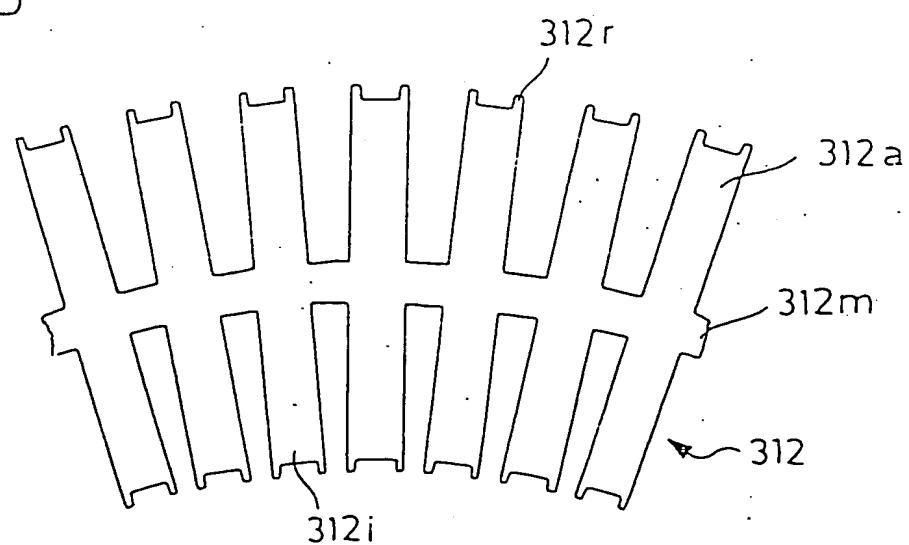


FIG. 14

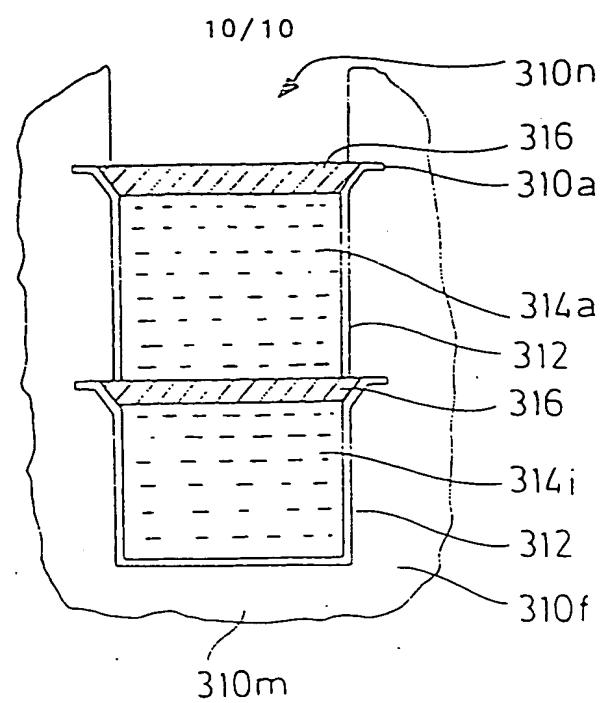


FIG. 15

